简单轻松学技能丛书

其实学习知识可以很简单
其实练习技能可以很轻松

韩雪涛 主 编
韩广兴 吴 瑛 副主编

简单轻松学电气控制与PLC应用


愉快的学习历程 轻松的学习体验


细致的图解演示 精彩的案例指导


轻松的语言表达 直白的情境对话


真实的场景再现 丰富的图解效果






机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

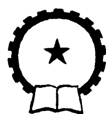
LANZAROTE
Caliente.COM

简单轻松学技能丛书

简单轻松学

电气控制与PLC应用

韩雪涛　主　编
韩广兴　吴　瑛　副主编



机　械　工　业　出　版　社

本书从初学者的学习目的出发，将电气控制与 PLC 应用技能的行业标准和从业要求融入到图书的架构体系中。同时，本书注重知识的循序渐进，注重情景课堂式的口语化和可读性，并在整个编写架构上做了全新的调整，以适应读者的学习习惯和学习特点，将电气控制与 PLC 应用这项技能划分成如下 13 个教学模块：第 1 章，学一些电气控制的基础知识；第 2 章，认识一下电气控制中的元器件；第 3 章，需要搞清楚的电动机；第 4 章，轻松搞定电气控制中的控制关系；第 5 章，通过案例搞清楚直流电动机的控制电路；第 6 章，通过案例搞清楚单相交流电动机的控制电路；第 7 章，通过案例搞清楚三相交流电动机的控制电路；第 8 章，通过案例搞清楚低压供电系统的电气控制；第 9 章，通过案例搞清楚高压供电系统的电气控制；第 10 章，通过案例搞清楚工业电气设备的电气控制；第 11 章，通过案例搞清楚农业电气设备的电气控制电路；第 12 章，充满神秘的 PLC；第 13 章，通过案例搞清楚 PLC 的更多应用。

本书可作为电工电子专业技能培训的辅导教材，以及各职业技术院校电工电子专业的实训教材，也适合从事电工电子行业生产、调试、维修的技术人员和业余爱好者阅读。

图书在版编目（CIP）数据

简单轻松学电气控制与 PLC 应用/韩雪涛主编. —北京：机械工业出版社，2014. 1

（简单轻松学技能丛书）

ISBN 978-7-111-45258-4

Ⅰ. ①简…　Ⅱ. ①韩…　Ⅲ. ①电气控制-基本知识②plc 技术-基本知识　Ⅳ. ①TM571. 2②TM571. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 310635 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：张俊红　责任编辑：赵玲丽　版式设计：霍永明
责任校对：陈立辉　封面设计：路恩中　责任印制：李　洋
三河市宏达印刷有限公司印刷
2014 年 3 月第 1 版第 1 次印刷
184mm × 260mm · 19. 5 印张 · 530 千字
0001—4000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-45258-4
定价：49.80 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
社服务中心：（010）88361066	教 材 网：http://www.cmpedu.com
销 售 一 部：（010）68326294	机工官网：http://www.cmpbook.com
销 售 二 部：（010）88379649	机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：（010）88379203	**封面无防伪标均为盗版**



前言

近几年，随着电工电子技术的发展，电工电子市场空前繁荣，各种新型、智能的家用电子产品不断融入到人们的学习、生产和生活中。产品的丰富无疑带动了整个电工电子产品的生产制造、调试维修等行业的发展，具备专业电工电子维修技能的专业技术人员越来越受到市场的青睐和社会的认可，越来越多的人希望从事电工电子维修的相关工作。

在电工电子产品的安装、调试、维修的各个领域中，电气控制与 PLC 应用技能是非常重要的一项实用操作技能。随着社会现代化和智能化进程的加剧，该项技能被越来越多的学习者所重视，越来越多的人希望掌握电气控制与 PLC 应用的技能，并凭借该技能实现就业或为自己的职业生涯提供更多的机会和选择。

因此，纵观整个电子电工图书市场，与电气控制与 PLC 应用技能有关的图书是近些年各个出版机构关注的重点，同时也被越来越多的读者所关注；加之该项技能与社会岗位需求紧密相关，技术的更新、行业竞争的加剧，都对电气控制与 PLC 应用技能的学习提出了更多的要求。电气控制与 PLC 应用类的图书每年都有很多新的品种推出，对于我们而言，从 2005 年至今，有关电气控制与 PLC 应用方面的选题也就从不曾间断，这充分说明了这项技能的受众群体巨大。同时，这项技能作为一项非常重要的基础技能，会随着整个产业链条的发展而发展，随着市场的更新而更新。

我们作为专业的技能培训鉴定和咨询机构，每天都会接到很多读者的来信和来电。他们在对我们出版的有关电气控制与 PLC 应用内容的图书表示认可的同时，也对我们提出了更多的希望和要求，并提出了很多针对实际工作现状的图书改进方案。我们对这些意见进行归纳汇总，并结合当前市场的培训就业特点，精心组织编写了这套《简单轻松学技能丛书》，希望通过机械工业出版社出版这套重点图书的契机，再创精品。

本书根据目前的国家考核标准和岗位需求，将电气控制与 PLC 应用的技能进行重组，完全从初学者的角度出发，将学习技能作为核心内容、将岗位需求作为目标导向，将近一段时间收集整理的包含电气控制与 PLC 应用技能的案例和资料进行筛选整理，充分发挥图解的优势，为本书增添更多新的素材和实用内容。

为确保本书的知识内容能够直接指导实际工作和就业，本书在内容的选取上从实际岗位需求的角度出发，将国家职业技能鉴定和数码维修工程师的考核认证标准融入到本书的各个知识点和技能点中，所有的知识技能在满足实际工作需要的同时，也完全符合国家职业技能和数码维修工程师相关专业的考核规范。读者通过学习不仅可以掌握电工电子的专业知识技能，同时还可以申报相应的国家工程师资格或国家职业资格的认证，以争取获得国家统一的专业技术资格证书，真正实现知识技能与人生职业规划的巧妙融合。

本书在编写内容和编写形式上做了较大的调整和突破，强调技能学习的实用性、便捷性和时

效性。在内容的选取方面，本书也下了很大的功夫，结合国家职业资格认证、数码维修工程师考核认证的专业考核规范，对电工电子行业需要的相关技能进行整理，并将其融入到实际的应用案例中，力求让读者能够学到有用的东西，能够学以致用。另外，本书在表现形式方面也更加多样，将“图解”、“图表”、“图注”等多种表现形式融入到知识技能的讲解中，使之更加生动形象。

此外，本书在语言表达上做了大胆的突破和尝试：从目录开始，章节的标题就采用更加直接、更加口语化的表述方式，让读者一看就能明白所要表达的内容是什么；书中的文字表述也是力求更加口语化，更加简洁明确。在此基础上，与书中众多模块的配合，本书营造出一种情景课堂的学习氛围，充分调动读者的学习兴趣，确保在最短时间内完成知识技能的飞速提升，使读者学习兴趣和学习效果都大大提升。同时在语言文字和图形符号方面，本书尽量与广大读者的行业用语习惯贴近，而非机械地向有关标准看齐，这点请广大读者注意。

本书由韩雪涛任主编，韩广兴、吴瑛任副主编，参与编写的人员还有张丽梅、宋永欣、梁明、宋明芳、孙涛、马楠、韩菲、张湘萍、吴鹏飞、韩雪冬、吴玮、高瑞征、吴惠英、周文静、王新霞、孙承满、周洋、马敬宇等。

另外，本书得到了数码维修工程师鉴定指导中心的大力支持。为了更好地满足广大读者的需求，以达到最佳的学习效果，本书读者除可获得免费的专业技术咨询外，每本图书都附赠价值50积分的数码维修工程师远程培训基金（培训基金以“学习卡”的形式提供），读者可凭借此卡登录数码维修工程师的官方网站（www. chinadse. org）获得超值技术服务。网站提供有最新的行业信息，大量的视频教学资源、图纸手册等学习资料，以及技术论坛等。读者凭借学习卡可随时了解最新的数码维修工程师考核培训信息；知晓电工电子领域的业界动态；实现远程在线视频学习；下载需要的图纸、技术手册等学习资料。此外，读者还可通过网站的技术交流平台进行技术交流与咨询。

读者通过学习与实践后，还可报名参加相关资质的国家职业资格或工程师资格认证，通过考核后可获得相应等级的国家职业资格或数码维修工程师资格证书。如果读者在学习和考核认证方面有什么问题，可通过以下方式与我们联系。

数码维修工程师鉴定指导中心

网址：http://www. chinadse. org

联系电话：022-83718162/83715667/13114807267

E-mail：chinadse@163. com

地址：天津市南开区榕苑路4号天发科技园8-1-401

邮编：300384

编　者

2014年春



前言

第1章 学一些电气控制的基础知识 …… 1
1.1 认识直流电 …… 1
1.1.1 什么是直流电 …… 1
1.1.2 什么是直流电路 …… 2
1.2 认识交流电 …… 4
1.2.1 什么是交流电 …… 4
1.2.2 什么是交流电路 …… 8
1.3 认识常用电气设备和供电线路 …… 12
1.3.1 有意思的家用电器及其供电线路 …… 12
1.3.2 有意思的大型电器及其供电方式 …… 14

第2章 认识一下电气控制中的元器件 …… 17
2.1 认识开关 …… 17
2.1.1 什么是开关 …… 17
2.1.2 常见的开关有哪些 …… 17
2.2 认识继电器 …… 24
2.2.1 通用继电器的功能 …… 24
2.2.2 控制继电器的功能 …… 27
2.2.3 保护继电器的功能 …… 30
2.3 认识接触器 …… 34
2.3.1 交流接触器的功能 …… 34
2.3.2 直流接触器的功能 …… 36
2.4 认识传感器 …… 38
2.4.1 光电传感器的功能 …… 39
2.4.2 温度传感器的功能 …… 43
2.4.3 湿度传感器的功能 …… 44
2.4.4 霍尔（磁电）传感器的功能特点 …… 45
2.5 认识保护器 …… 46

2.5.1 熔断器的功能 …… 46
2.5.2 断路器的功能 …… 51
2.6 认识变压器 …… 55
2.6.1 电源变压器的功能 …… 56
2.6.2 中频变压器的功能 …… 56
2.6.3 音频变压器的功能 …… 56
2.6.4 脉冲变压器的功能 …… 57
2.6.5 电力变压器的功能 …… 58

第3章 需要搞清楚的电动机 …… 62
3.1 什么是直流电动机 …… 62
3.1.1 直流电动机有什么用 …… 63
3.1.2 直流电动机怎么工作 …… 66
3.2 什么是单相交流电动机 …… 68
3.2.1 单相交流电动机有什么用 …… 71
3.2.2 单相交流电动机怎么工作 …… 72
3.3 什么是三相交流电动机 …… 76
3.3.1 三相交流电动机有什么用 …… 78
3.3.2 三相交流电动机怎么工作 …… 79

第4章 轻松搞定电气控制中的控制关系 …… 85
4.1 开关的控制关系 …… 85
4.1.1 电源开关的控制关系 …… 85
4.1.2 按钮开关的控制关系 …… 86
4.2 继电器的控制关系 …… 89
4.2.1 继电器常开触点的控制关系 …… 90
4.2.2 继电器常闭触点的控制关系 …… 90
4.2.3 继电器转换触点的控制关系 …… 92
4.3 接触器的控制关系 …… 95
4.3.1 交流接触器的控制关系 …… 95
4.3.2 直流接触器的控制关系 …… 99
4.4 传感器的控制关系 …… 100
4.4.1 温度传感器的控制关系 …… 100
4.4.2 湿度传感器的控制关系 …… 102
4.4.3 光电传感器的控制关系 …… 103
4.4.4 磁电传感器的控制关系 …… 103
4.4.5 气敏传感器的控制关系 …… 107
4.4.6 振动传感器的控制关系 …… 109
4.5 保护器的控制关系 …… 110
4.5.1 熔断器的控制关系 …… 110

4.5.2 漏电保护器的控制关系 …… 112
4.5.3 温度继电器的控制关系 …… 113
4.5.4 过热保护继电器的控制关系 …… 115
4.5.5 避雷器的控制关系 …… 116

第5章 通过案例搞清楚直流电动机的控制电路 …… 120
5.1 了解一下直流电动机的控制过程 …… 120
5.1.1 看看直流电动机的控制电路中有哪些器件 …… 120
5.1.2 怎样做到对直流电动机的控制 …… 120
5.2 这些直流电动机的控制效果是如何实现的 …… 125
5.2.1 减压起动的直流电动机控制是如何实现的 …… 125
5.2.2 直流电动机正反转连续控制是如何实现的 …… 128
5.2.3 直流电动机调速控制是如何实现的 …… 132
5.2.4 直流电动机能耗制动控制是如何实现的 …… 134

第6章 通过案例搞清楚单相交流电动机的控制电路 …… 141
6.1 了解一下单相交流电动机的控制过程 …… 141
6.1.1 看看单相交流电动机有哪些驱动方式 …… 141
6.1.2 看看单相交流电动机的控制电路中有哪些器件 …… 145
6.1.3 怎样做到对单相交流电动机的控制 …… 146
6.2 这些单相交流电动机的控制效果是如何实现的 …… 150
6.2.1 采用点动开关对单相交流电动机进行的正反转控制是如何实现的 …… 150
6.2.2 采用限位开关对单相交流电动机进行的控制是如何实现的 …… 151
6.2.3 采用旋转开关对单相交流电动机进行的正反转控制是如何实现的 …… 158

第7章 通过案例搞清楚三相交流电动机的控制电路 …… 161
7.1 了解一下三相交流电动机的控制过程 …… 161
7.1.1 看看三相交流电动机控制电路中有哪些部件 …… 161
7.1.2 怎样做到对三相交流电动机的控制 …… 161
7.2 这些三相交流电动机的控制效果是如何实现的 …… 166
7.2.1 Y-△减压起动的三相交流电动机控制是如何实现的 …… 166
7.2.2 采用旋转开关对三相交流电动机进行的点动、连续控制是如何实现的 …… 169
7.2.3 三相交流电动机的正反转控制是如何实现的 …… 172
7.2.4 三相交流电动机定时起动、停机的控制是如何实现的 …… 175

第8章 通过案例搞清楚低压供电系统的电气控制 …… 180
8.1 了解一下低压供电系统的电气控制过程 …… 180
8.1.1 看看低压供电系统的电气控制电路中有哪些器件 …… 180
8.1.2 怎样做到对低压供电系统的电气控制 …… 180
8.2 这些低压供电系统的电气控制效果是如何实现的 …… 183

8.2.1 低压配电开关设备的电气控制是如何实现的 …… 183
8.2.2 低压配电柜供配电线路的电气控制是如何实现的 …… 184
8.2.3 锅炉房低压供电系统的电气控制是如何实现的 …… 188

第9章 通过案例搞清楚高压供电系统的电气控制 …… 191
9.1 了解一下高压供电系统的电气控制过程 …… 191
9.1.1 看看高压供电系统的电气控制电路中有哪些器件 …… 191
9.1.2 怎样做到对高压供电系统的电气控制 …… 194
9.2 这些高压供电系统的电气控制效果是如何实现的 …… 196
9.2.1 楼宇变电所高压供电系统的电气控制效果是如何实现的 …… 196
9.2.2 企业10kV配电柜高压供电系统的电气控制是如何实现的…… 198
9.2.3 工厂配电高压供电系统的电气控制是如何实现的 …… 199

第10章 通过案例搞清楚工业电气设备的电气控制 …… 203
10.1 了解一下工业电气设备的电气控制过程 …… 203
10.1.1 看看工业电气设备的电气控制电路中有哪些器件 …… 203
10.1.2 怎样做到对工业电气设备的电气控制 …… 203
10.2 这些工业电气设备的电气控制效果是如何实现的 …… 209
10.2.1 带有继电器的电动机供电控制电路是如何实现的 …… 209
10.2.2 货物升降机的自动运行控制电路是如何实现的 …… 211
10.2.3 B690型液压牛头刨床控制电路中电气设备的控制是如何实现的 …… 215
10.2.4 Y7131型齿轮磨床控制电路中电气设备是如何实现的 …… 219

第11章 通过案例搞清楚农业电气设备的电气控制 …… 226
11.1 了解一下农业电气设备的电气控制过程 …… 226
11.1.1 看看农业电气设备的电气控制电路中有哪些器件 …… 226
11.1.2 怎样做到对农业电气设备的电气控制 …… 226
11.2 这些农业电气设备的电气控制效果是如何实现的 …… 230
11.2.1 禽蛋孵化恒温箱控制电路中电气设备的电气控制是如何实现的 …… 230
11.2.2 稻谷加工机电气控制电路中电气设备的电气控制是如何实现的 …… 233
11.2.3 禽类养殖孵化室湿度控制电路中电气设备的电气控制是如何实现的 …… 235
11.2.4 养鱼池间歇增氧控制电路中电气设备的电气控制是如何实现的 …… 238
11.2.5 农田排灌自动控制电路中电气设备的电气控制是如何实现的 …… 240

第12章 充满神秘的PLC …… 246
12.1 什么是PLC …… 246
12.1.1 PLC，好奇怪的名字 …… 246
12.1.2 PLC里有什么 …… 247
12.1.3 PLC是如何工作的 …… 248
12.2 PLC有什么用 …… 256

12.2.1 我们周围的 PLC …… 256
12.2.2 看看 PLC 的产品 …… 261

第13章 通过案例搞清楚 PLC 的更多应用 …… 272
13.1 应用 PLC 如何实现三相交流电动机的连续控制 …… 272
13.1.1 先看看应用 PLC 的三相交流电动机连续控制电路 …… 272
13.1.2 搞清楚 PLC 是如何做到对三相交流电动机进行连续控制的 …… 274
13.2 应用 PLC 如何实现三相交流电动机的减压起动控制 …… 275
13.2.1 先看看应用 PLC 的三相交流电动机减压起动控制电路 …… 276
13.2.2 搞清楚 PLC 是如何做到对三相交流电动机进行减压起动控制的 …… 277
13.3 C620—1 型卧式车床的 PLC 控制是如何实现的 …… 279
13.3.1 先看看 C620—1 型卧式车床的结构 …… 279
13.3.2 搞清楚 PLC 是如何做到对 C620—1 型卧式车床进行连续控制的 …… 280
13.4 电动葫芦的 PLC 控制是如何实现的 …… 283
13.4.1 先看看应用 PLC 控制的电动葫芦 …… 283
13.4.2 搞清楚 PLC 是如何做到对电动葫芦进行控制的 …… 286
13.5 自动门的 PLC 控制是如何实现的 …… 289
13.5.1 先看看应用 PLC 控制的自动门 …… 290
13.5.2 搞清楚 PLC 是如何做到对自动门进行控制的 …… 292
13.6 蓄水池的 PLC 控制是如何实现的 …… 295
13.6.1 先看看应用 PLC 控制的蓄水池 …… 296
13.6.2 搞清楚 PLC 是如何做到对蓄水池进行控制的 …… 298

第1章 学一些电气控制的基础知识



现在我们开始进入第1章的学习，这一章我们要学习一下电气控制的基础知识。在电工领域，电气控制与PLC应用可谓是门新兴的专业科目，随着电气智能化程度的逐步提高，电气控制与PLC应用技术越来越受到关注，对于初学者来说，在学习电气控制与PLC应用之初，一定要对电气控制的基础电路知识有所了解，要清楚什么是直流，什么是交流，明白直流电路与交流电路的特点与区别，知晓电气设备的常用供电方式。这样，方可进入更高阶段的学习和训练。

总之，基础非常重要。下面，我们会通过很多精彩的图示和案例进行讲解，大家要认真学习噢!

1.1 认识直流电





我们先对直流电的相关知识进行学习，在学习之前，我们先对直流电进行认识，学习一下什么是直流电。

1.1.1 什么是直流电



直流电（direct current，DC）是指电流流向单一，其方向和时间不作周期性变化的电流，即电流的时间方向固定不变，是由正极流向负极，但电流的大小可能不固定。

直流电可以分为脉动直流和恒定直流两种，如图1-1所示，脉动直流中直流电流大小不稳定；而恒定电流中的直流电流大小能够一直保持恒定不变。



图1-1 脉动直流和恒定直流

一般将可提供直流电的装置称为直流电源，它是一种形成并保持电路中恒定直流的供电装置，例如干电池、蓄电池、直流发电机等直流电源，直流电源有正、负两级，当直流电源为电路供电时，直流电源能够使电路两端之间保持恒定的电位差，从而在外电路中形成由电源正极到负极的电流，如图1-2所示。

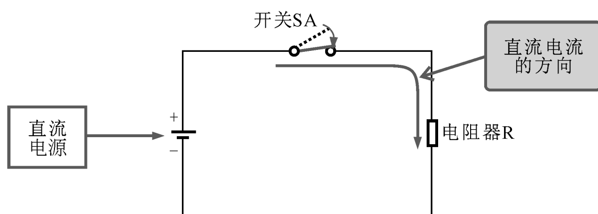


图 1-2　直流的形成

1.1.2　什么是直流电路



由直流电通过的电路称为直流电路，该电路是指电流流向恒定的电路，即电流方向与大小不随时间产生变化，它是最基本也是最简单的电路。

在生活和生产中采用电池供电的电器，都采用直流供电方式，如低压小功率照明灯、直流电动机等。还有许多电器是利用交流—直流变换器，将交流变成直流再为电器产品供电。图 1-3 所示为直流电动机驱动电路，它采用的直流电源供电，这是一个典型的直流电路。

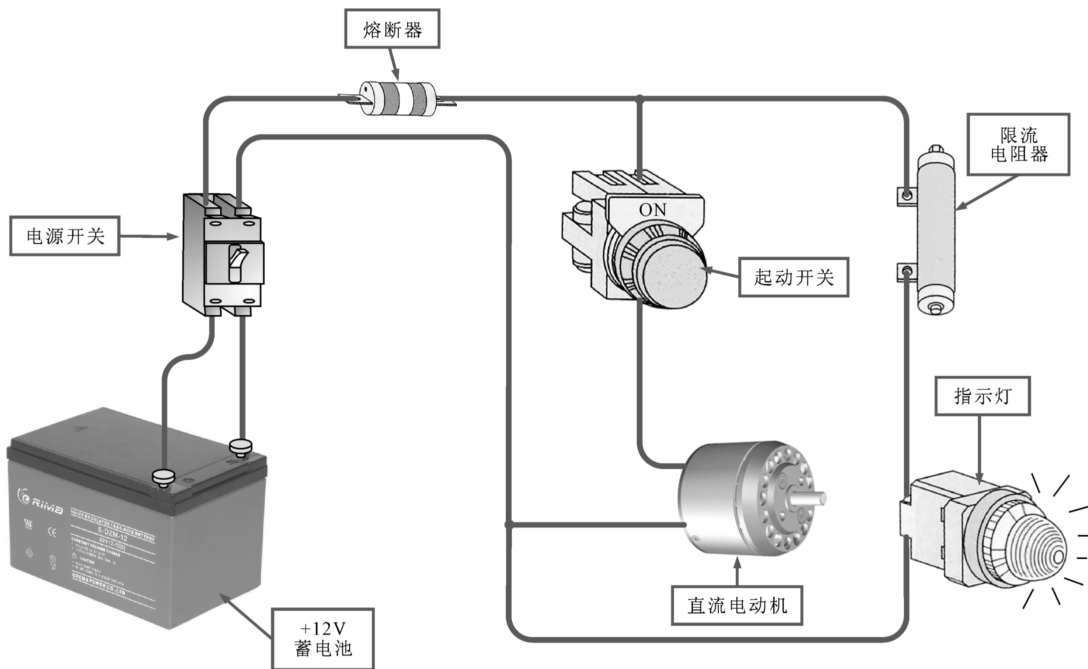


图 1-3　直流电动机驱动电路

家庭或企事业单位的供电都是采用交流 220V、50Hz 的电源，而在电子设备内部各电路单元及其元件则往往需要多种直流电压，因而需要一些电路将交流 220V 电压变为直流电压，供电路各部分使用，如图 1-4 所示，交流 220V 电压经变压器 T，先变成交流低压（12V）；再经整流二极管 VD 整流后变成脉动直流；脉动直流经 LC 滤波后变成稳定的直流电压。

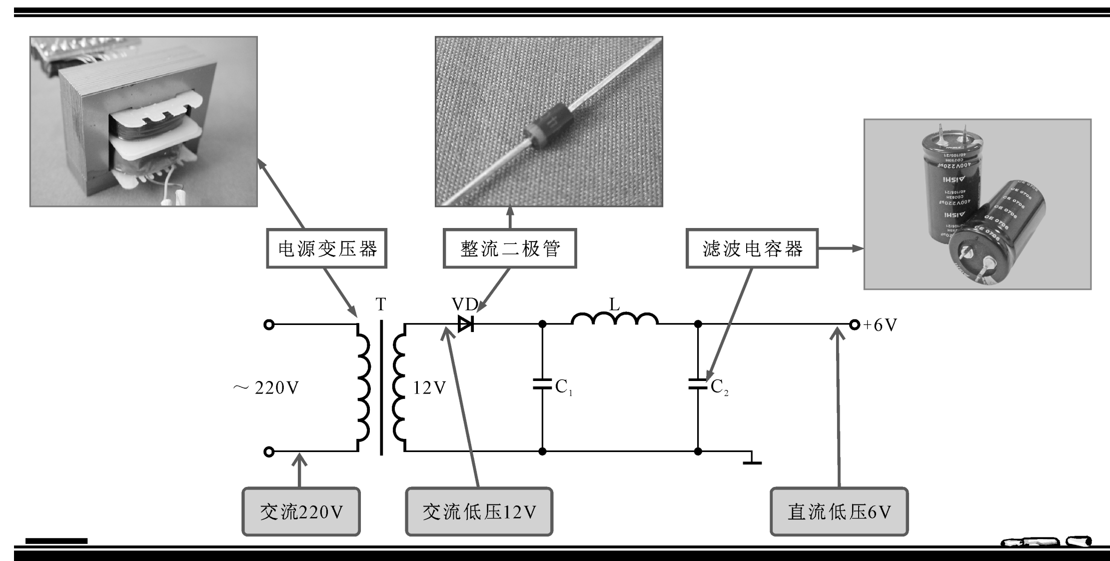


图 1-4　直流电源电路

【资料】

一些电器如电动车、手机、收音机、随身听等，是借助充电器给电池充电后获取电池的直流电压。值得一提的是，不论是电动车的大充电器，还是手机、收音机等的小型充电器，都需要从市电交流 220V 的电源中获得能量，利用充电器将交流 220V 变为所需的直流电进行充电的。还有一些电子产品将直流电源作为附件，制成一个独立的电路单元，称为电源适配器（简称适配器）。如笔记本电脑、摄录一体机等，通过电源适配器与 220V 相连，适配器将 220V 交流电转变为直流电后为用电设备提供所需要的电压，如图 1-5 所示。

将交流电利用充电器为直流电池充电
直流电池
用电设备（笔记本电脑）
交流220V电源
交流220V电源
充电器
将交流电利用电源适配器转变为直流电

图 1-5　利用 220V 交流供电的设备

1.2 认识交流电





在学习之前，我们先对交流电的概念进行认识，学习一下什么是交流电，然后进一步对交流电路进行学习。

1.2.1 什么是交流电



交流电（alternating current，AC）一般是指电流的大小和方向会随时间作周期性变化的电流。

人们在日常生活中所有的电器产品都需要有供电电源才能正常工作，大多数的电器设备都是由市电交流 220V、50Hz 作为供电电源。这是我国公共用电的统一标准，交流 220V 电压是指相线（即火线）对零线的电压。

交流电是由交流发电机产生的，交流发电机可以产生单相和多相交流电压，如图 1-6 所示。

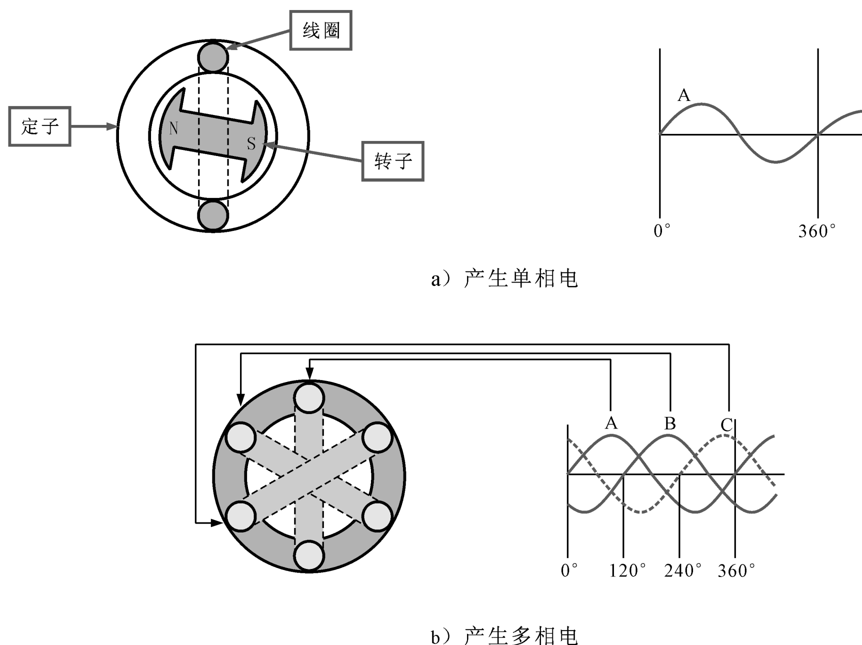


图 1-6 单相交流电压和多相交流电压的产生

1. 单相交流电

单相交流电是以一个交变电动势作为电源的电力系统，在单相交流电路中，只具有单一的交流电压，其电流和电压都是按一定的频率随时间变化的。

图 1-7 所示为单相交流电的产生。在单相交流发电机中，只有一个线圈绕制在铁心上构成定子，转子是永磁体，当其内部的定子和线圈为一组时，它所产生的感应电动势（电压）也为一组，由两条线进行传输，这种电源就是单相电源，这种配电方式称为单相二线制。

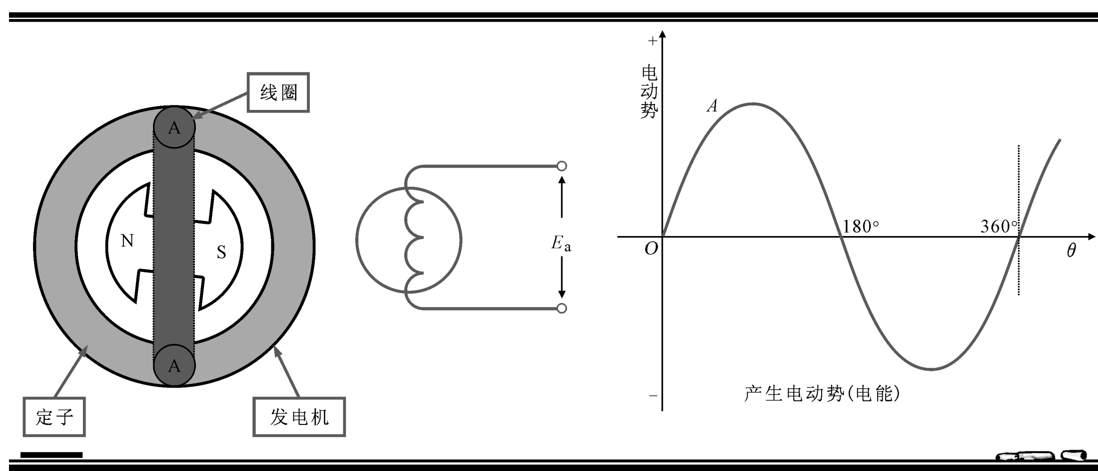


图 1-7　单相交流电的产生

2. 多相交流电

多相交流电根据相线的不同，还可以分为二相交流电和三相交流电。

（1）二相交流电

在发电机内设有两组定子线圈，它们互相垂直地分布在转子外围，如图 1-8 所示。转子旋转时两组定子线圈产生两组感应电动势，这两组电动势之间有 90°的相位差。这种电源为两相电源，多在自动化设备中使用。

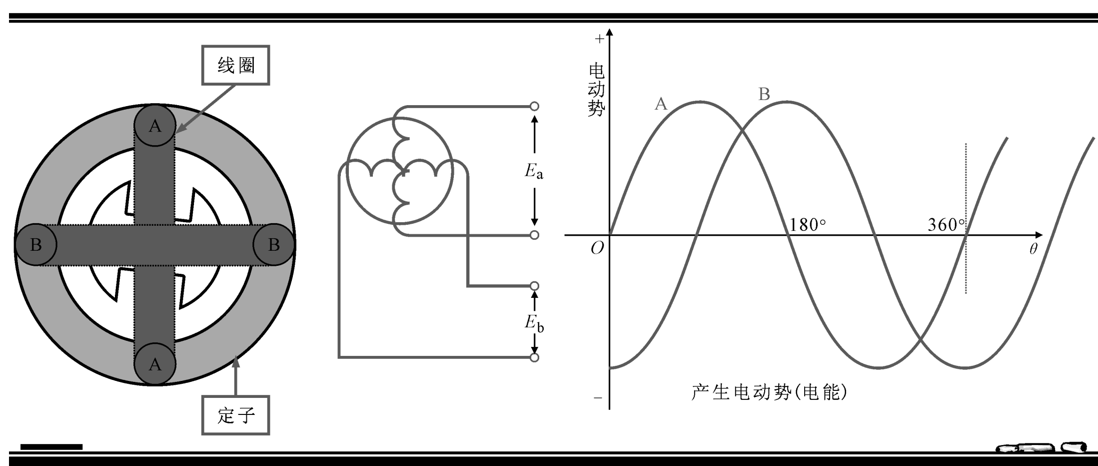


图 1-8　二相交流电的产生

（2）三相交流电

通常，把三相电源的线路中产生的电压和电流统称三相交流电，这种电源由三条线来传输，三线之间的电压大小相等（380V）、频率相同（50Hz）、相位差为 120°，如图 1-9 所示。

三相交流电是由三相交流发电机产生的。在定子槽内放置着三个结构相同的定子绕组 A、B、C，这些绕组在空间互隔 120°。转子旋转时，其磁场在空间按正弦规律变化，当转子由水轮机或汽轮机带动以角速度 ω 等速地顺时针方向旋转时，在三个定子绕组中，就产生频率相同、幅值相等、相位上互差 120°的三个正弦电动势，这样就形成了对称三相电动势。

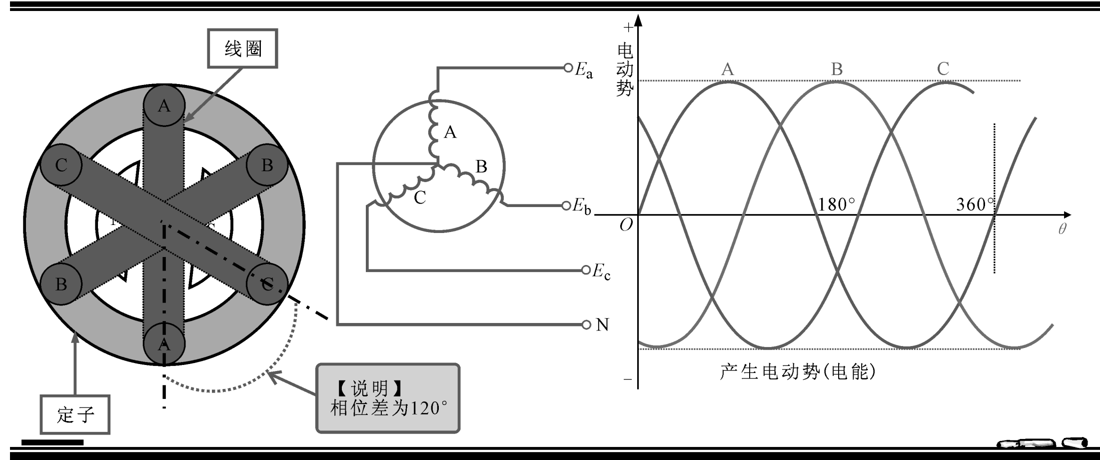


图 1-9　三相交流发电机



【资料】

三相交流电路中，相线（火线）与零线（中性线）之间的电压为 220V，而相线与相线之间的电压为 380V，如图 1-10 所示。

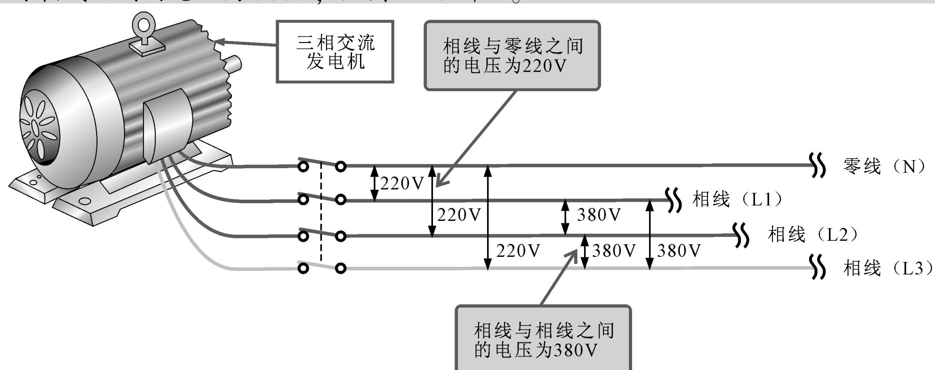


图 1-10　三相交流电路电压的测量

提问

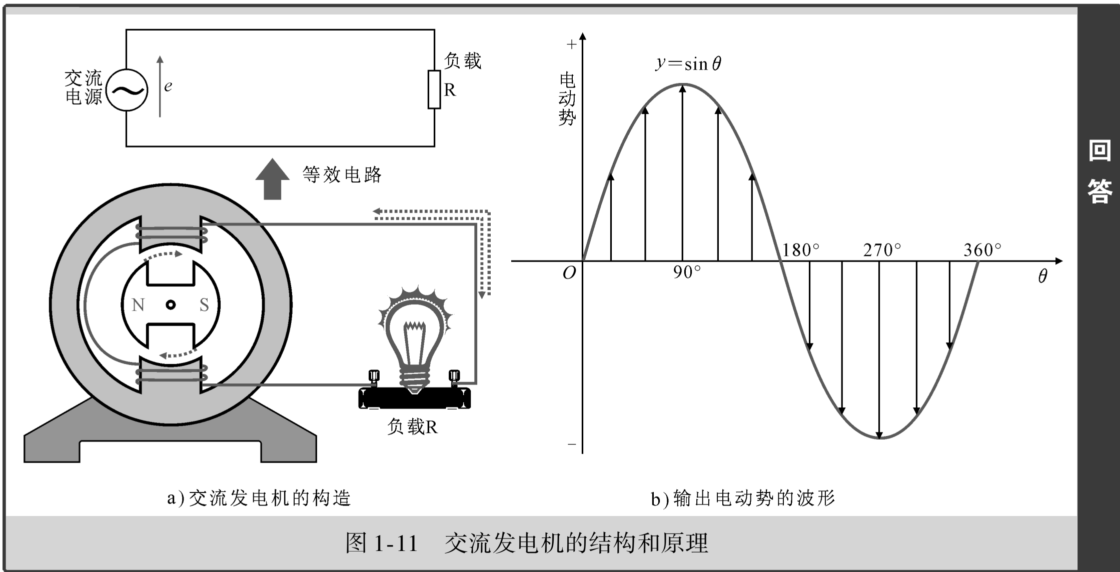
为什么交流发电机就可以输出交流电呢？它是怎么做到的？





交流发电机的基本结构如图 1-11 所示，转子是由永磁体构成的。当水轮机或汽轮机带动发电机转子旋转时，转子磁极旋转，会对定子线圈辐射磁场，磁力线切割定子线圈，定子线圈中便会产生感应电动势，转子磁极转动一周就会使定子线圈产生相应的电动势（电压）。由于感应电动势的强弱与感应磁场的强度成正比，感应电动势的极性也与感应磁场的极性相对应。定子线圈所受到的感应磁场是正反向交替周期性变化的。转子磁极匀速转动时，感应磁场是按正弦规律变化的，发电机输出的电动势则为正弦波形。

回答



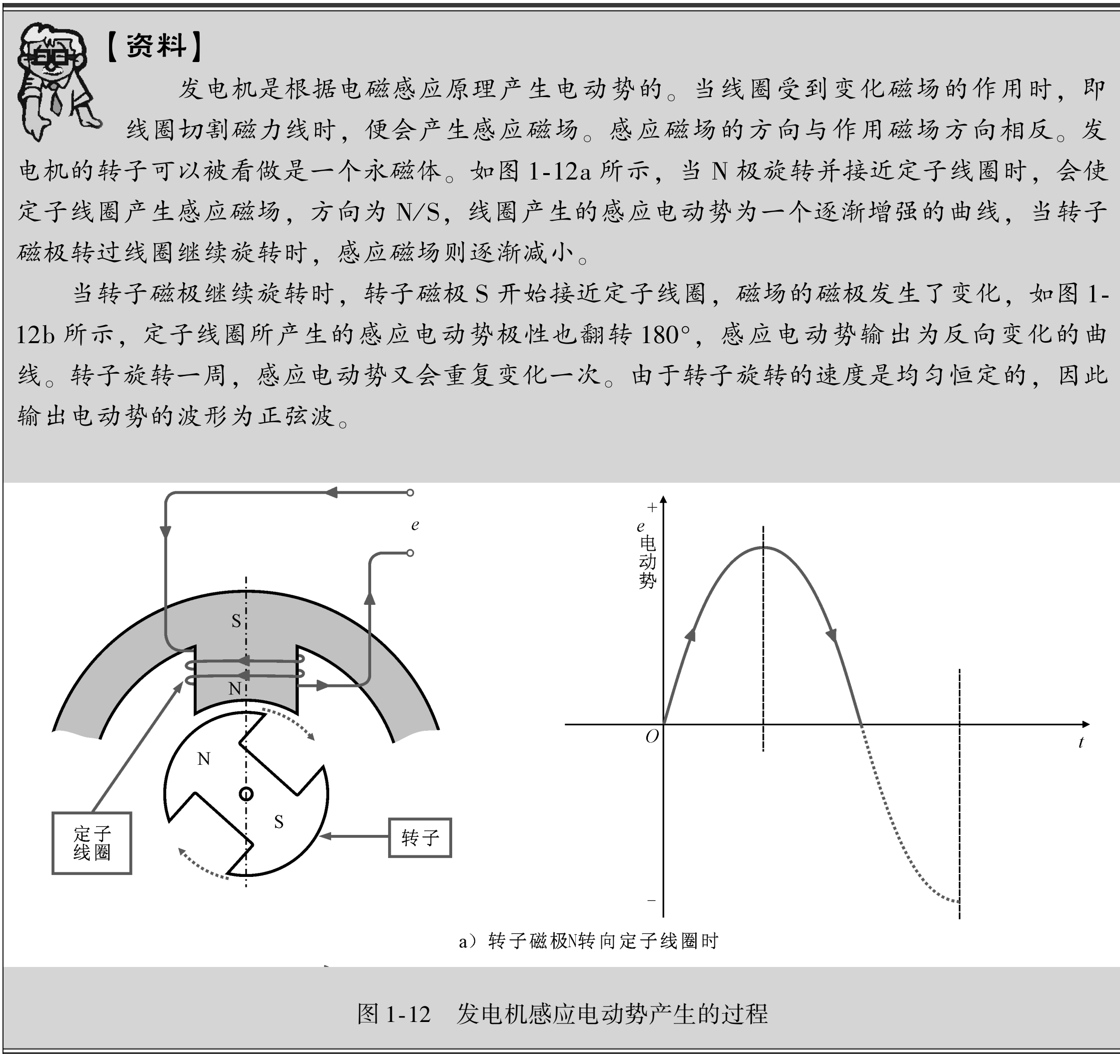
a) 交流发电机的构造　　b) 输出电动势的波形

图1-11　交流发电机的结构和原理

【资料】

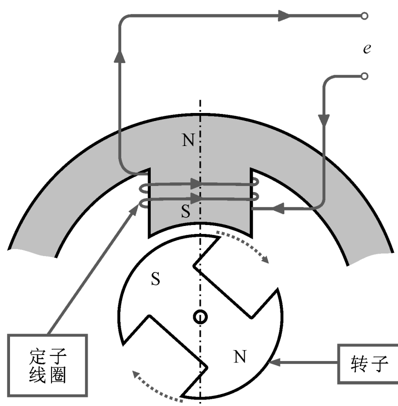
发电机是根据电磁感应原理产生电动势的。当线圈受到变化磁场的作用时，即线圈切割磁力线时，便会产生感应磁场。感应磁场的方向与作用磁场方向相反。发电机的转子可以被看做是一个永磁体。如图1-12a所示，当N极旋转并接近定子线圈时，会使定子线圈产生感应磁场，方向为N/S，线圈产生的感应电动势为一个逐渐增强的曲线，当转子磁极转过线圈继续旋转时，感应磁场则逐渐减小。

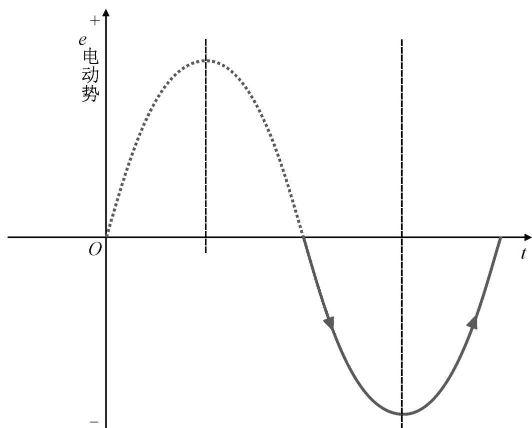
当转子磁极继续旋转时，转子磁极S开始接近定子线圈，磁场的磁极发生了变化，如图1-12b所示，定子线圈所产生的感应电动势极性也翻转180°，感应电动势输出为反向变化的曲线。转子旋转一周，感应电动势又会重复变化一次。由于转子旋转的速度是均匀恒定的，因此输出电动势的波形为正弦波。



a）转子磁极N转向定子线圈时

图1-12　发电机感应电动势产生的过程





b）转子磁极S转向定子线圈时

图 1-12　发电机感应电动势产生的过程（续）

1.2.2　什么是交流电路



我们将交流电通过的电路称为交流电路。交流电路普遍用于人们的日常生活和生产中，下面就分别介绍一下单相交流电路和三相交流电路。

1. 单相交流电路

单相交流电路的供电方式主要有单相两线式、单相三线式供电方式，一般的家庭用电都是单相交流电路。

（1）单相两线式

图 1-13 所示为单相两线式照明配电线路图，从三相三线高压输电线上取其中的两线送入柱上高压变压器输入端。例如，高压 6600V 电压经过柱上变压器变压后，其二次侧向家庭照明线路提供 220V 电压。变压器一次侧与二次侧之间隔离，输出端相线与零线之间的电压为 220V。

（2）单相三线式

图 1-14 所示为单相三线式配电线路图。单相三线式供电中的一条线路作为地线与大地相接。此时，地线与相线之间的电压为 220V，零线（中性线）N 与相线（L）之间电压为 220V。由于不同接地点存在一定的电位差，因而零线与地线之间可能有一定的电压。

2. 三相交流电路

三相交流电路的供电方式主要有三相三线式、三相四线式和三相五线式三种，一般的工厂中的电气设备常采用三相交流电路。

（1）三相三线式

图 1-15 所示为典型三相三线式交流电动机供电配电线路图。高压（6600V 或 10000V）经柱上变压器变压后，由变压器引出三根相线，送入工厂中，为工厂中的电气设备供电，每根相线之间的电压为 380V，因此工厂中额定电压为 380V 的电气设备可直接接在相线上。

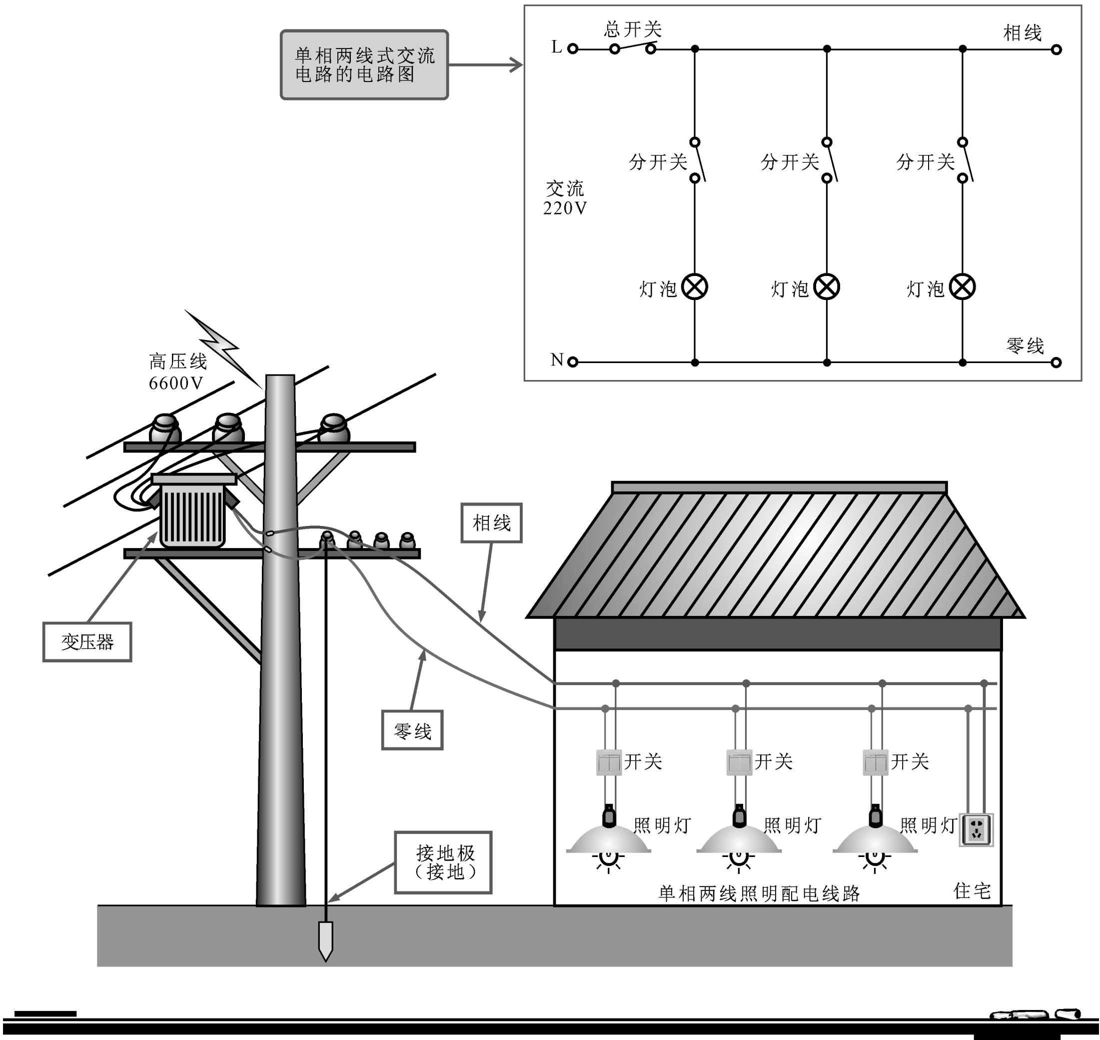


图 1-13　单相两线式照明配电线路图

（2）三相四线式

图 1-16 所示为典型三相四线供电方式的交流电路示意图。三相四线式供电方式与三相三线式供电方式不同的是从变压器输出端多引出一条零线。接上零线的电气设备在工作时，电流经过电气设备做功，没有做功的电流就可经零线回到电厂，对电气设备起到保护作用。与单相四线式供电不同的是，单相四线式供电只取其中的一相加入负载电路，而三相四线式则是将三根相线全部接到用电设备上。

（3）三相五线式

图 1-17 所示为典型三相五线供电方式的交流电路示意图。在前面所述的三相四线式供电系统中，把零线的两个作用分开，即一根线做工作零线（N），另一根线做保护零线（PN），这样的供电接线方式称为三相五线制供电方式。

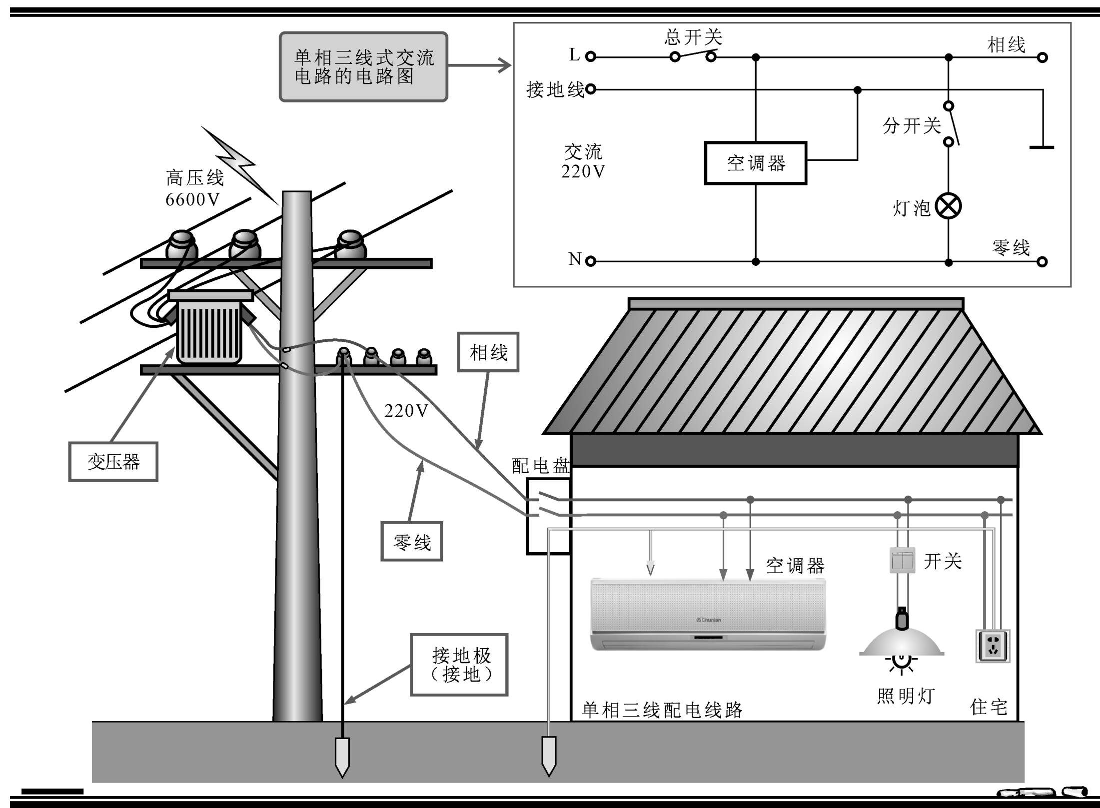


图 1-14　单相三线式配电线路图

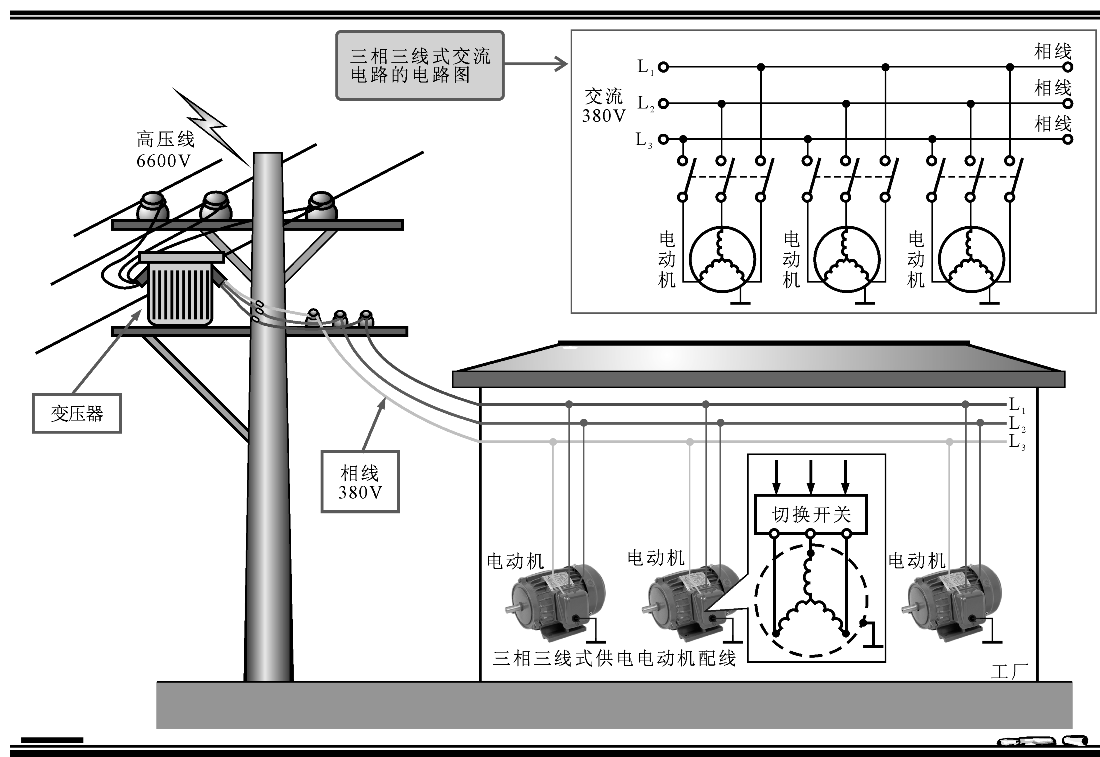


图 1-15　典型三相三线式的交流电动机供电配电线路图

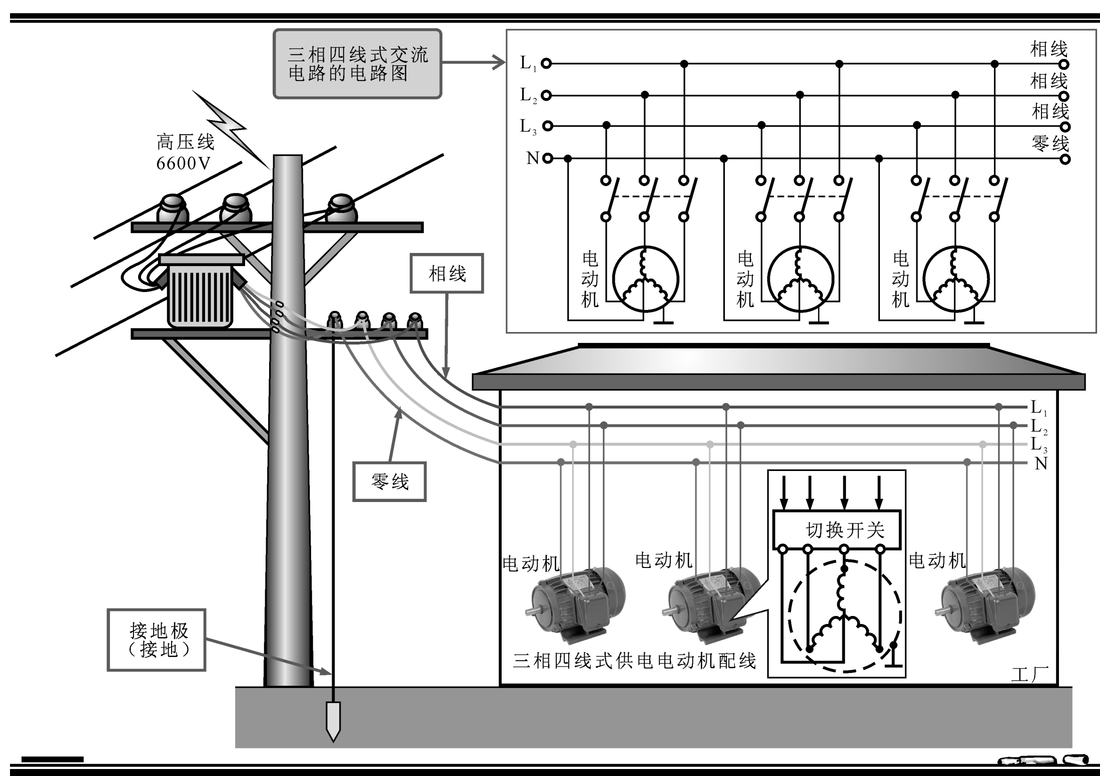


图 1-16　典型三相四线供电方式的交流电路示意图

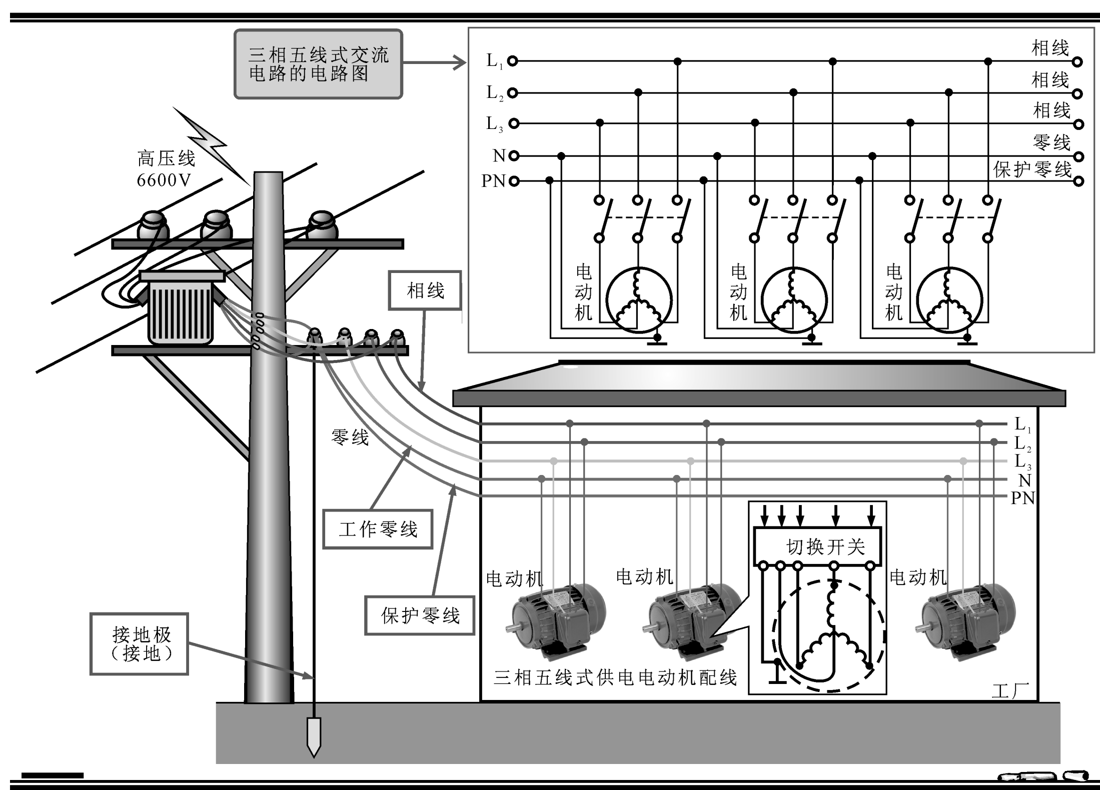


图 1-17　典型三相五线供电方式的交流电路示意图

1.3 认识常用电气设备和供电线路





我们在学习电气设备和供电线路之前，应首先认识这些电气设备，然后再根据这些设备对供电线路以及供电方式进行下一步的认识、学习。

1.3.1 有意思的家用电器及其供电线路



在日常生活中，家用电器常常用到交流电，在我们的生活中所有的家用电器产品几乎都需要有供电电源才能正常工作，大多数的电器设备都是由市电交流 220V、50Hz 作为供电电源，在其供电线路中最常用到的电器部件就是配电盘。图 1-18 所示为典型交流供电的家用电器产品。

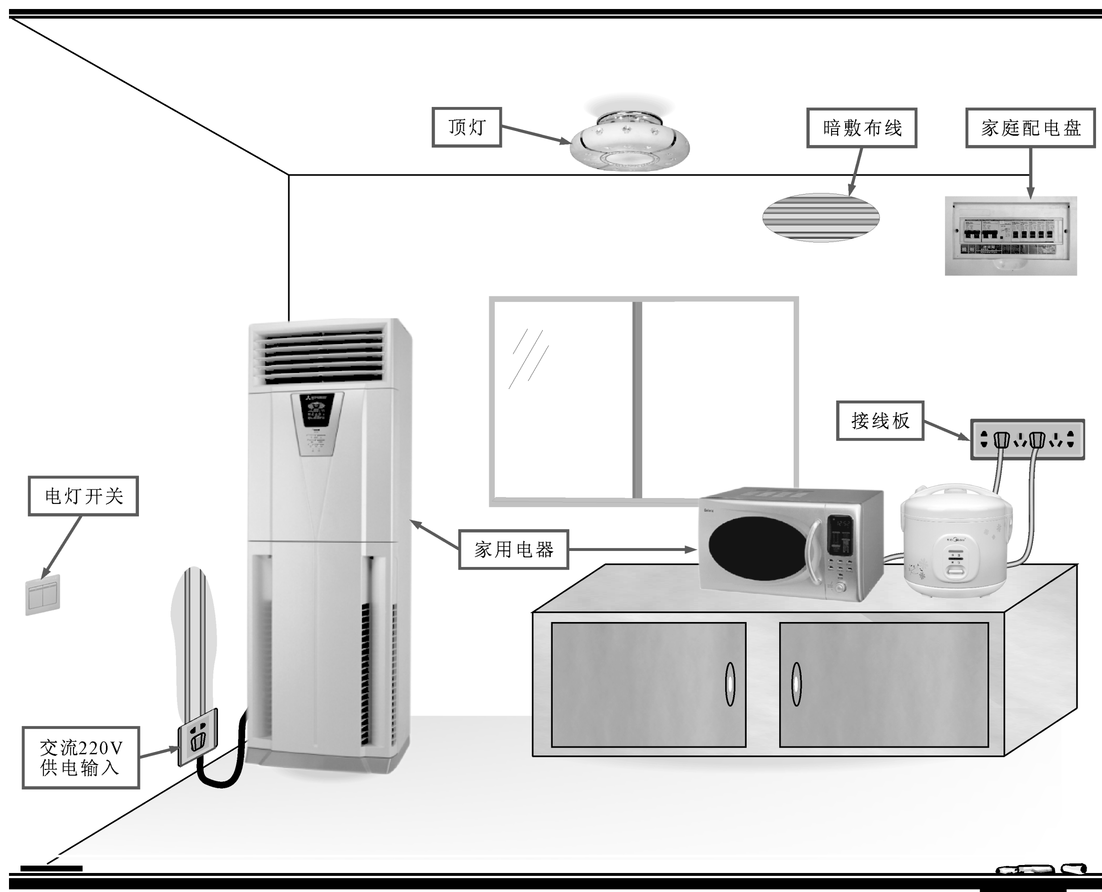


图 1-18 典型交流供电的家用电器产品

通常家用电器的供电线路有两条，如图 1-19 所示，其中一条线为相线，另一条线为零线（中性线）。因此家用电器的一般安装在两条线路之间，还可以有另外一条线作为接地线，该线接设备（空调）的外壳，它与零线不连接。



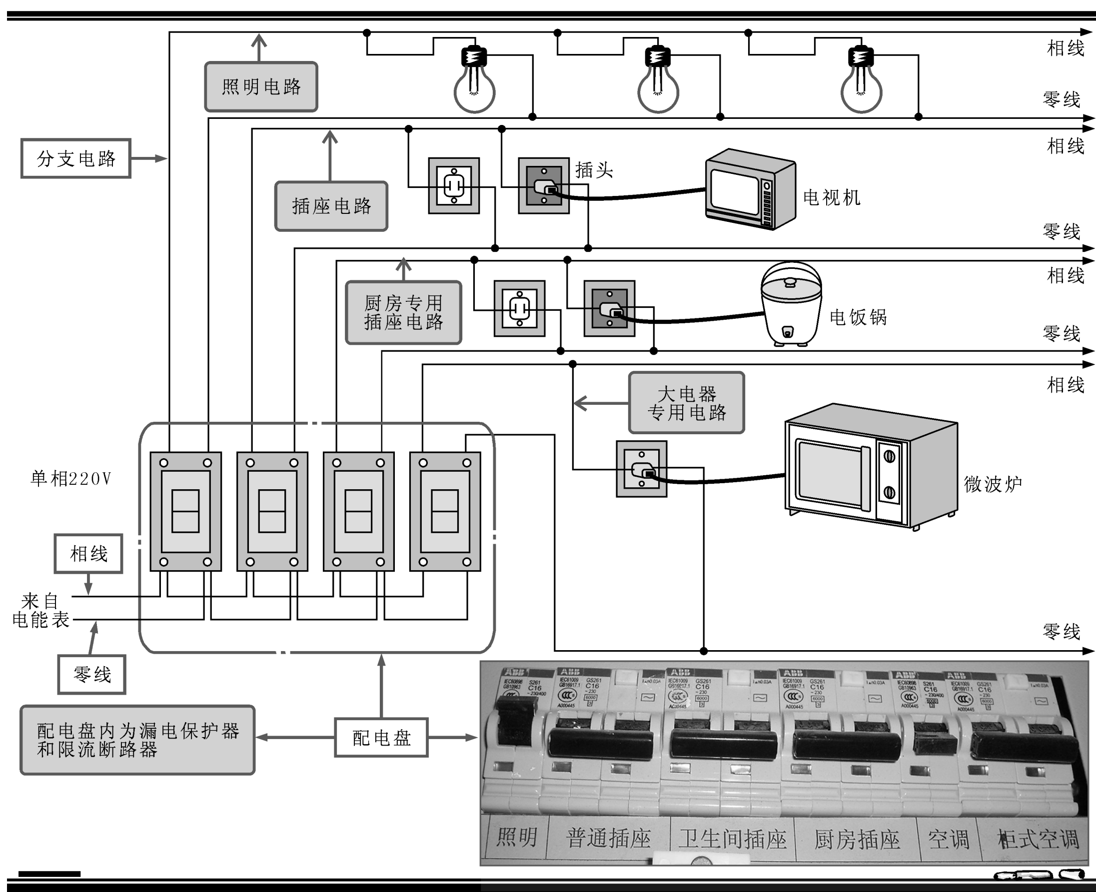


图 1-19　家用电器的供电线路



【资料】

若家用电器的供电线路为单相三线制，其中一条线路作为相线、一条线路作为零线、另外一条应为接地线，如图 1-20 所示。此时，中性线与相线之间电压为 220V，接地线用于接设备外壳。

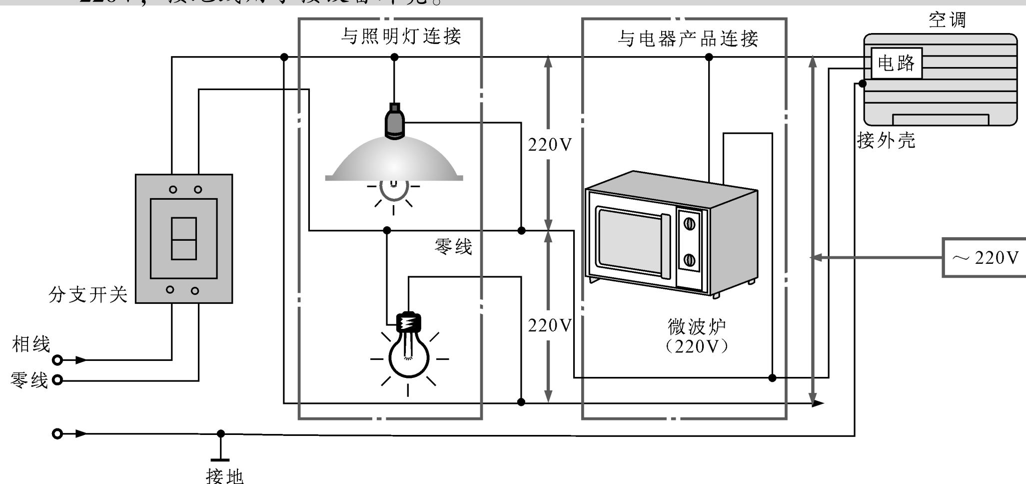


图 1-20　单相三线制供电线路

1.3.2 有意思的大型电器及其供电方式



大型电器是指消耗功率比较大的电器设备，例如，农用排灌设备、农用机械、机床、电焊机等。这些设备需要提供的电能比较多，且安全性可靠性要求也较高。这些设备往往与高电压和大电流相关，因而传输线路和相关的器件也有特殊的要求。

1. 农用电器及其供电方式

农用电器主要是利用电能的农用设备，例如水泵、割草机、粉碎机、粮食加工设备等，都是农村中常见的设备。其中与电相关的大多是机械中的电动机。农用电器的供电大部分为交流二相220V 电源。

2. 厂房电器及其供电方式

厂房电器的供电设备与所需要的电压和电功率有关。通常有如下几种方式：

（1）高压 6600V→380V 的供电方式

供电电源来源于 6600V 左右的三相高压，经变电设备变压后输出三相交流 380V 的电源，可作为动力电源或照明电源。

（2）380V→380V 的供电方式

交流三相 380V 的电源为三相 380V 的用电设备（如三相感应电动机）供电系统，其输入和输出的电压和相数不变，只是在供电和控制系统中加入开关切换设备，电压、电流测量仪表和过电压过电流保护设备。

（3）380V→220V 的供电方式

交流三相 380V 的电源作为单相 220V 的用电器（如单相感应电机）供电系统。该系统的用电功率通常比前者要小一些，系统中的设备也比较简单。交流三相 380V 电源通常可直接输出三组单相 220V 的电压。

3. 典型供电方法的应用

（1）三相交流 380V 供电方式

图 1-21 所示为直接由三相交流 380V 供电的电路及相关设备。其中主要的用电设备是三相感应电动机，这种电动机广泛用于工厂车间中的各种加工机械之中。图中的电流表串联在电机的一相线路中，补偿电容与负载并联，补偿电容的接地端要接地良好。补偿电容的引线端有 380V 电压，注意触电危险。

（2）三相交流 380V 分支供电系统

图 1-22 所示为三相交流 380V 分支供电系统的结构示意图，用电设备是三台交流感应电动机，电动机可以通过齿轮及传动机构驱动各种机械。三个电动机可以由三个分支开关（带过电流保护装置）进行独立控制，因而可直接由动力干线取得。干线的供电能力应大于各分支的总和。

主线 380V 三相电源经分支开关（带过电流保护装置）后输出干线 380V 交流（三线）。三组机械设备的电动机供电均从干线上引出，每一组各设一个具有过电流保护功能的开关，再加到三个电动机上，线路采用三线制，电机的外壳要与大地接好。主干线电流容量的选择要等于三组电动机的用电量之和。开关的选择要与电动机的最大耗电功率相适应。



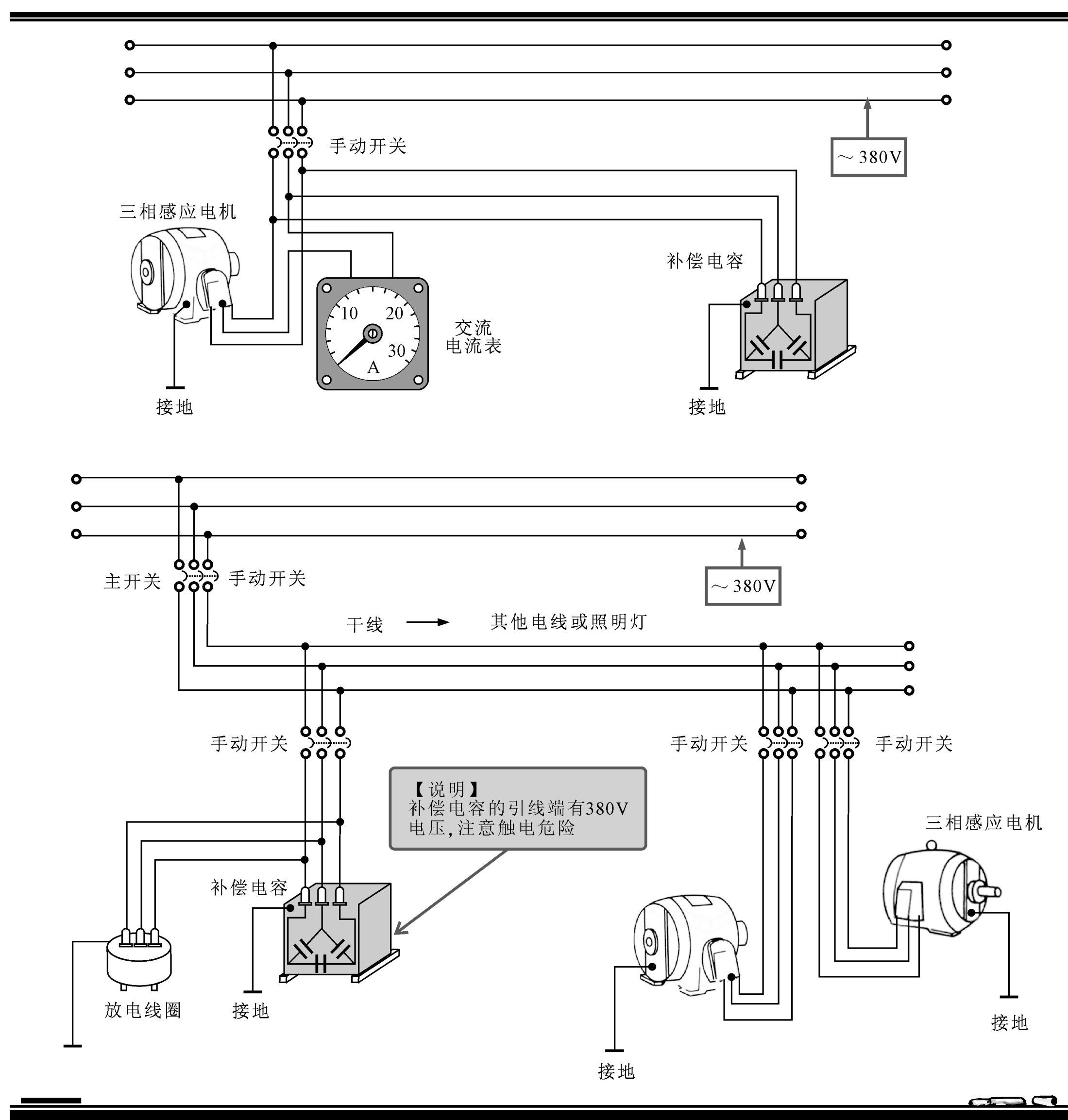


图 1-21　直接由三相交流 380V 供电的电路及相关设备

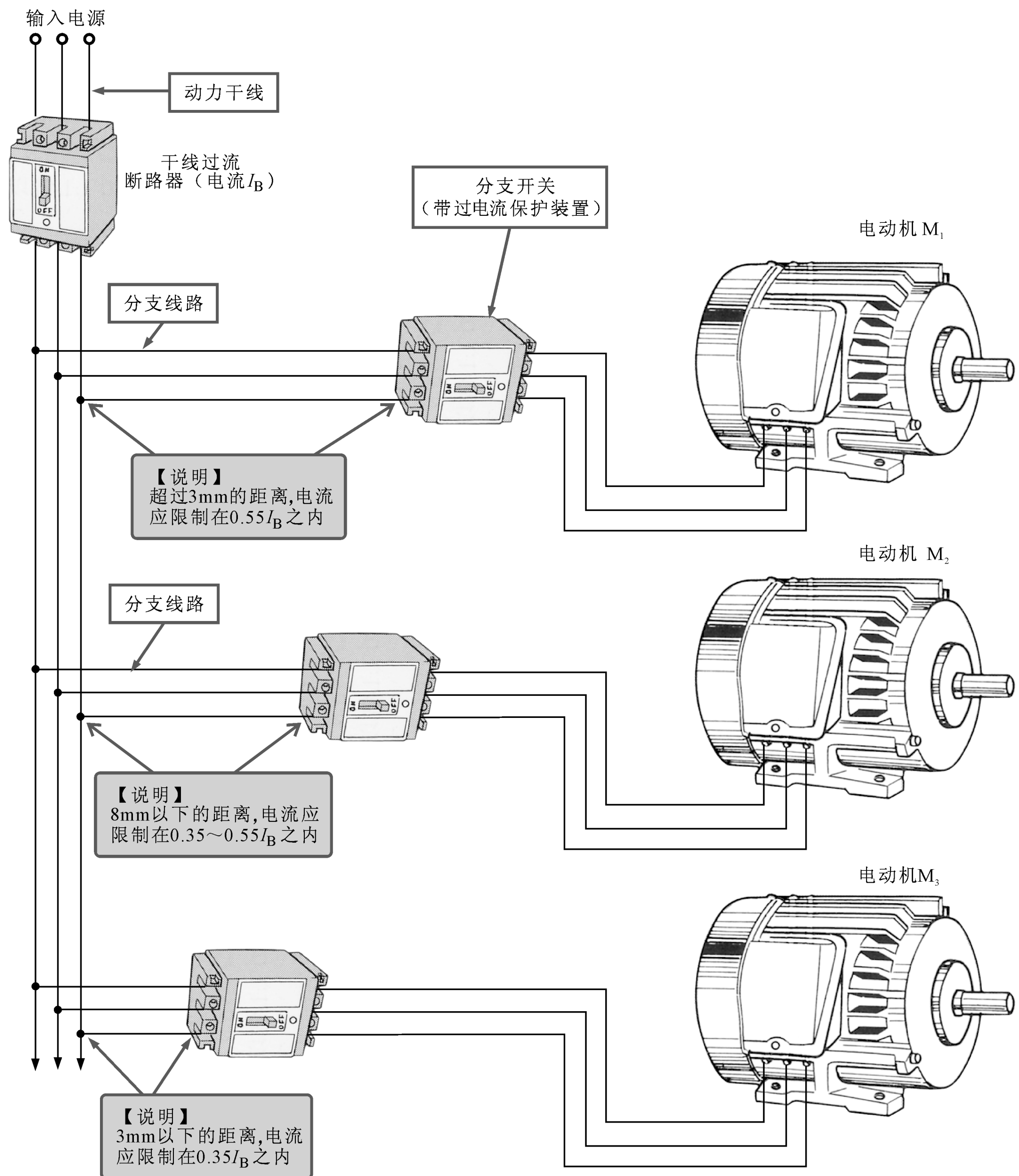


图 1-22　三相交流 380V 分支供电系统的结构示意图

第 2 章 认识一下电气控制中的元器件



现在我们开始学习第 2 章，认识一下电气控制中的元器件。电气控制中的元器件是电气安装与控制中不可缺少的部件之一，如开关、继电器、接触器、传感器、保护器和变压器等。本章就来为大家讲解电气控制中的元器件的种类和功能，让大家对元器件能够有一个深入的认识。通过本章的学习，希望大家能够了解电气控制中的元器件有哪些，如何区分这些元器件，以及熟悉各种元器件的功能和特点。好了，下面让我们开始学习吧。

2.1 认识开关





从本节开始，来为大家介绍一下开关的种类和功能特点。开关是一种控制电路闭合、断开的电气部件，在电气控制中是非常重要的部件之一。开关的种类繁多，本节精选最常用的开关部件，一一展开来为大家做详细的介绍。

2.1.1 什么是开关



开关是指在线路中起通断、控制、保护以及调节作用的电气元件，主要用于对自动控制系统电路发出操作指令，从而实现对供配电线路、照明线路、电动机控制线路等实用电路的起停控制。图 2-1 所示为开关在电气控制中的应用。

2.1.2 常见的开关有哪些



根据结构功能的不同，常用的开关通常包含开启式负荷开关、封闭式负荷开关、组合开关、按钮开关及隔离开关等。下面就来为大家具体介绍一下各种常用开关的功能。

1. 开启式负荷开关的功能

开启式负荷开关又称胶盖闸刀开关，该类开关通常应用在低压电气照明电路、电热线路、建筑工地供电、农用机械供电以及分支电路的配电中，主要用于在带负荷状态下接通或切断电源电路，按其结构可以分为两极式和三极式两种。图 2-2 所示为开启式负荷开关的实物外形。

不同类型的开启式负荷开关的内部结构大体相同，主要是由瓷底座、静插座、进线端子、出线端子、触刀座、瓷柄（手柄）、熔丝等组成，图 2-3 所示为二极开启式负荷开关的内部结构。

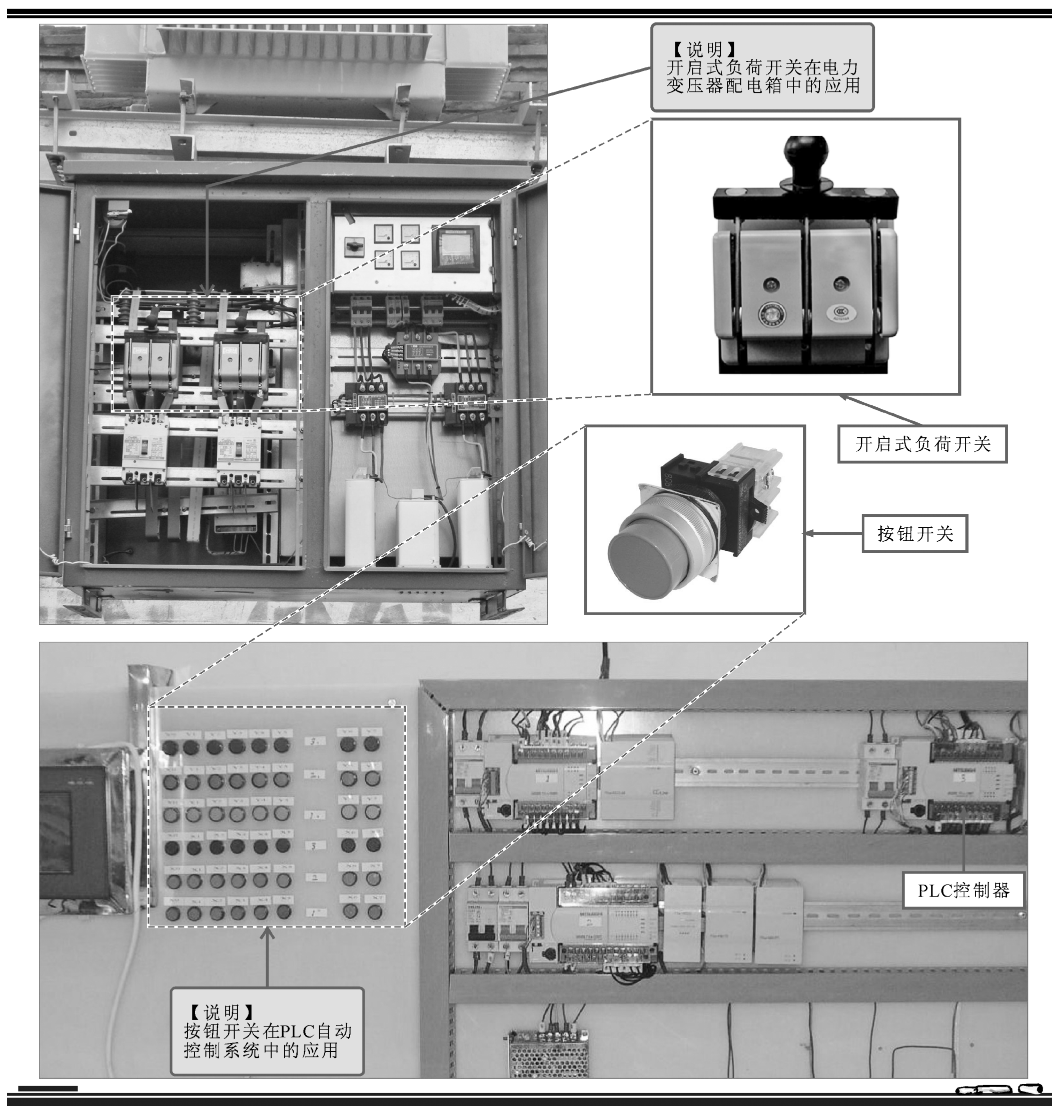


图 2-1　开关在电气控制中的应用

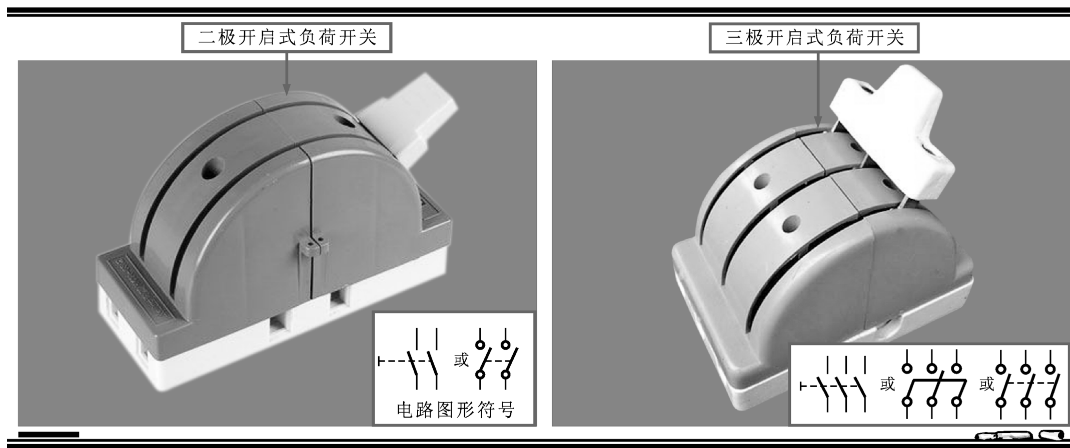


图 2-2　开启式负荷开关的实物外形

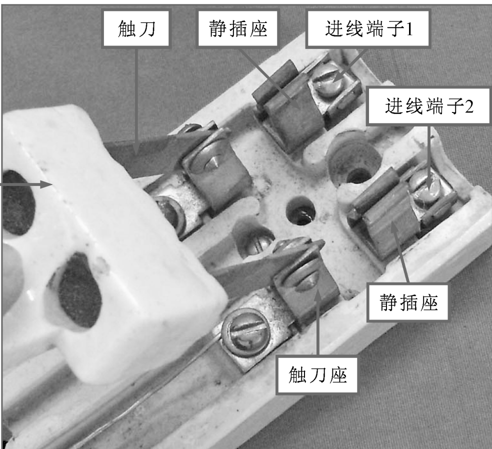


图 2-3　二极开启式负荷开关的内部结构



【资料】

开启式负荷开关作为一种手动不频繁地接通和分断电路用设备，其工作过程简单。当手动操作该类开关的瓷柄，使动静触点闭合后，电路接通；当手动操作该类开关的瓷柄，使动静触点分开后，电路被切断，其工作原理如图 2-4 所示。

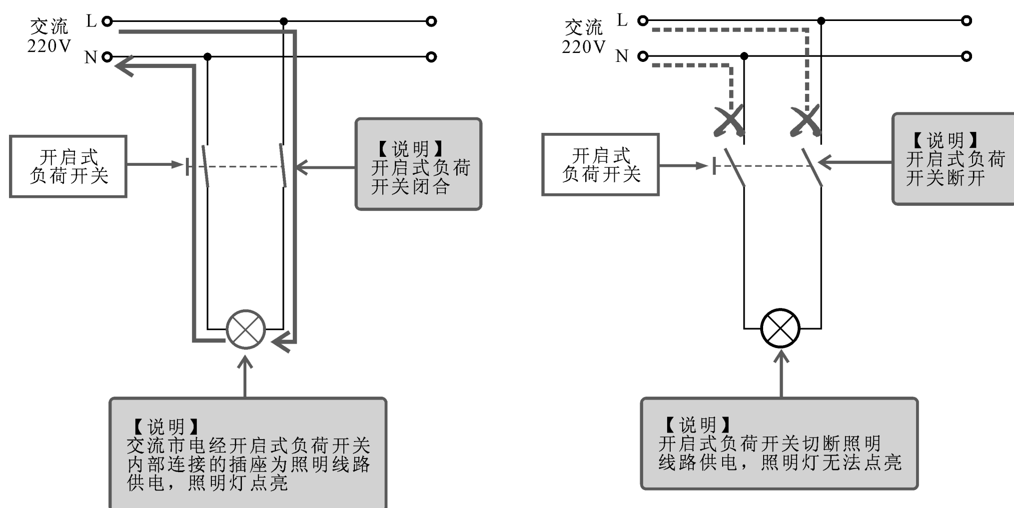


图 2-4　开启式负荷开关的工作原理

提问

请问两极开启式负荷开关和三极开启式负荷开关在实际应用上有什么不同？



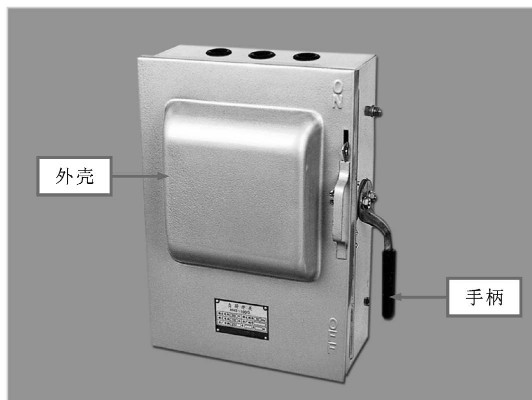


两极开启式负荷开关主要应用于单相供电电路中，作为分支电路的配电开关；三极开启式负荷开关主要应用于三相供电电路中。

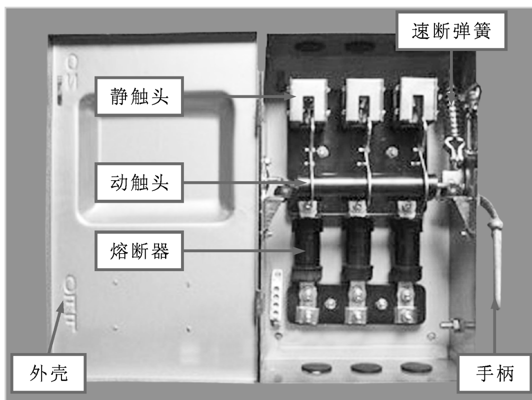
回答

2. 封闭式负荷开关的功能

封闭式负荷开关又称铁壳开关，是由手柄、外壳、速断弹簧、静触头、动触头和熔断器构成的，其结构特点如图 2-5 所示。



a）封闭式负荷开关的外部结构



b）封闭式负荷开关的内部结构

图 2-5　封闭式负荷开关的结构特点

封闭式负荷开关内部使用的速断弹簧，保证了外壳在打开的状态下，不能进行合闸，提高了封闭式负荷开关的安全防护能力。当手柄转至上方时，封闭式负荷开关的动、静触头处于接通状态；当封闭式负荷开关的手柄转至下方时，其动静触头处于断开的状态，此时也断开了电路，如图 2-6 所示。



【资料】

封闭式负荷开关是在开启式负荷开关的基础上改进的一种手动开关，其操作性能和安全防护都优于开启式负荷开关，通常用于额定电压小于 500V，额定电流小于 200A 的电气设备中。

3. 组合开关的功能

组合开关又称转换开关，是由多组开关构成的，是一种转动式的闸刀开关，主要用于接通或切断电路，其实物外形如图 2-7 所示。

典型组合开关的结构示意图如图 2-8 所示。组合开关内部有若干个动触片和静触片，分别装于数层绝缘件内，静触片固定在绝缘垫板上，动触片装在转轴上，随转轴旋转而变换通、断位置。

当组合开关的手柄转至不同的位置时，实现的功能也不相同，当手柄转至不同的挡位时，其相关的两个触点闭合，其他触点断开，如图 2-9 所示。



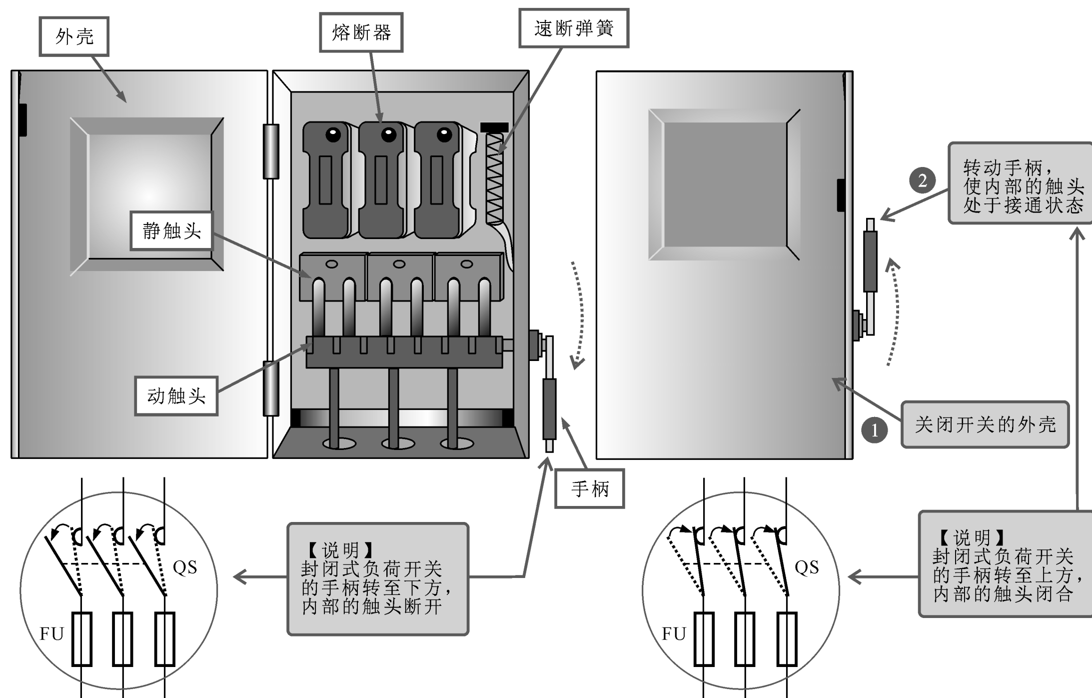


图 2-6　封闭式负荷开关的工作原理

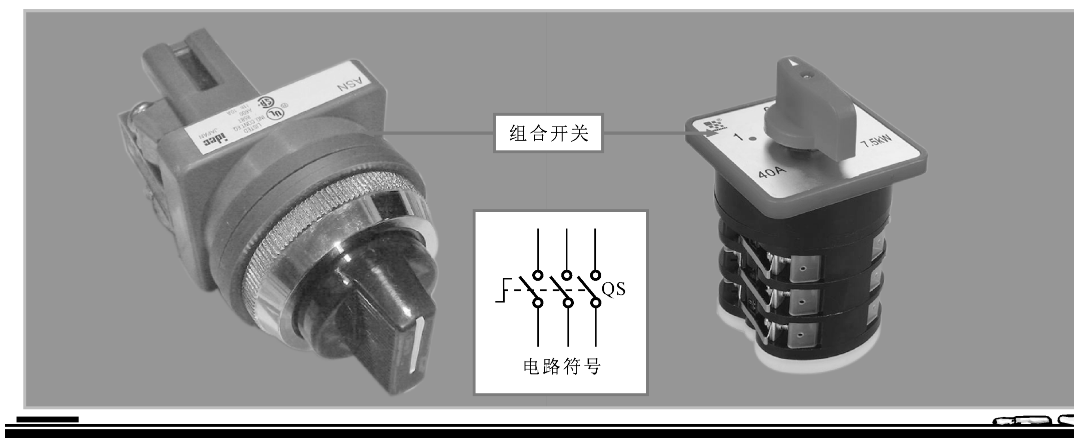


图 2-7　组合开关的实物外形



【资料】

组合开关多用于交流380V以下、直流200V以下电器中控制小功率电动机的正、反转，具有体积小、寿命长、结构简单、操作方便、灭弧性能较好等优点。除了可以应用于电动机的起动外，还可应用于机床照明电路控制以及机床电源引入等。

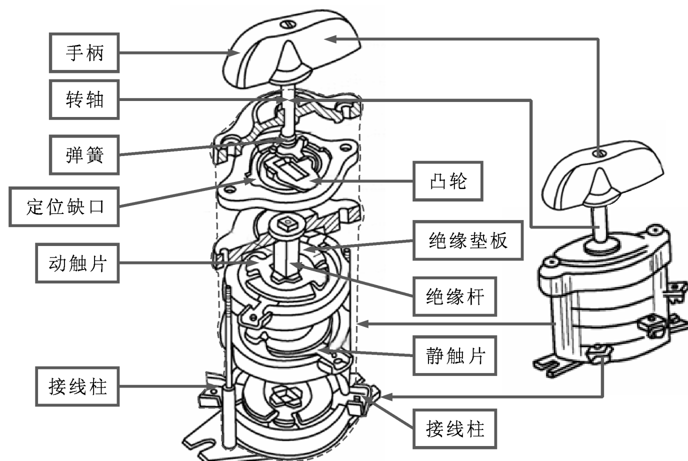


图 2-8　典型组合开关的结构示意图

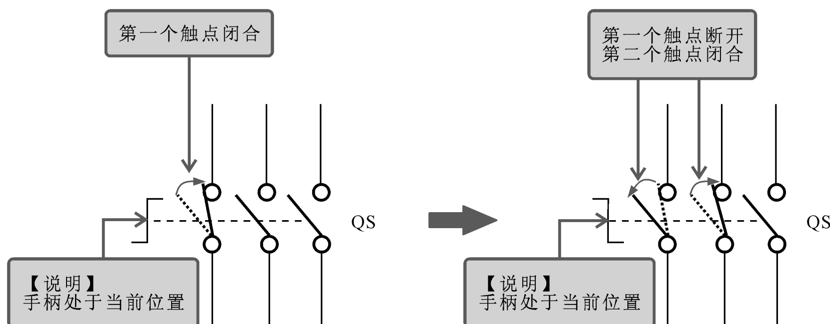


图 2-9　组合开关的工作原理

4. 按钮开关的功能

按钮是一种手动操作的电气开关，用来在控制线路中发出远距离控制信号或指令，去控制继电器、接触器或其他负载，实现对主供电电路的接通或切断，从而达到对负载的控制，如电动机的起动、停止、正/反转。图 2-10 所示为按钮开关的实物外形。

不同类型的按钮开关，其内部结构也有所不同，常见的有常开按钮、常闭按钮、复合按钮三种，其内部主要是由按钮（操作头）、连杆、复位弹簧、动触点、常开静触点、常闭静触点等组成的，如图 2-11 所示。



【资料】

按钮开关的应用十分广泛，一些电力拖动线路、工矿企业设备控制线路及自动化控制线路中的控制部分，几乎都是由按钮开关进行控制的。

5. 高压隔离开关的功能

隔离开关即在电路中起到隔离作用的开关设备，一般指的是高压隔离开关，即额定电压在 1kV 及其以上的隔离开关，简称为隔离开关，主要用来将高压配电装置中需要停电的部分与带电部分可靠地隔离，以保证检修工作的安全。图 2-12 所示为典型高压隔离开关的实物外形和结构。



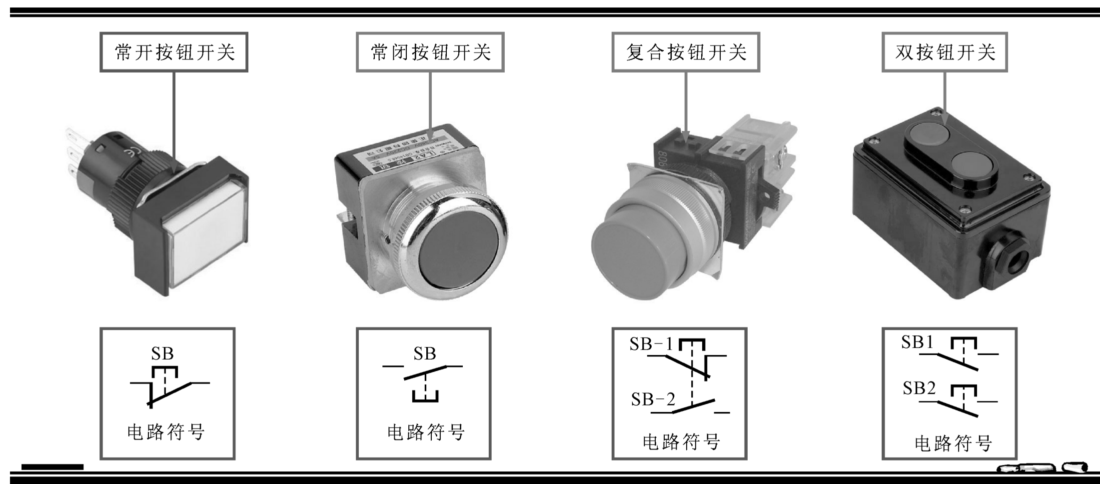


图 2-10　按钮开关的实物外形

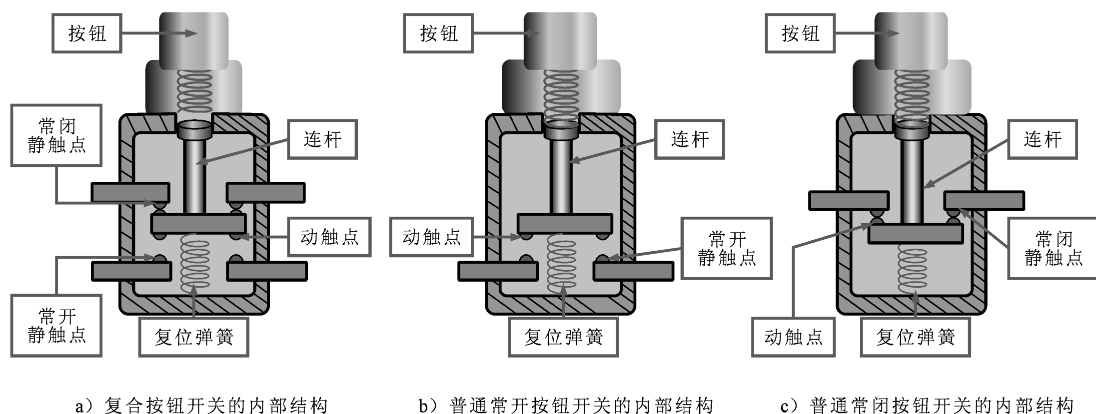


图 2-11　按钮开关的内部结构

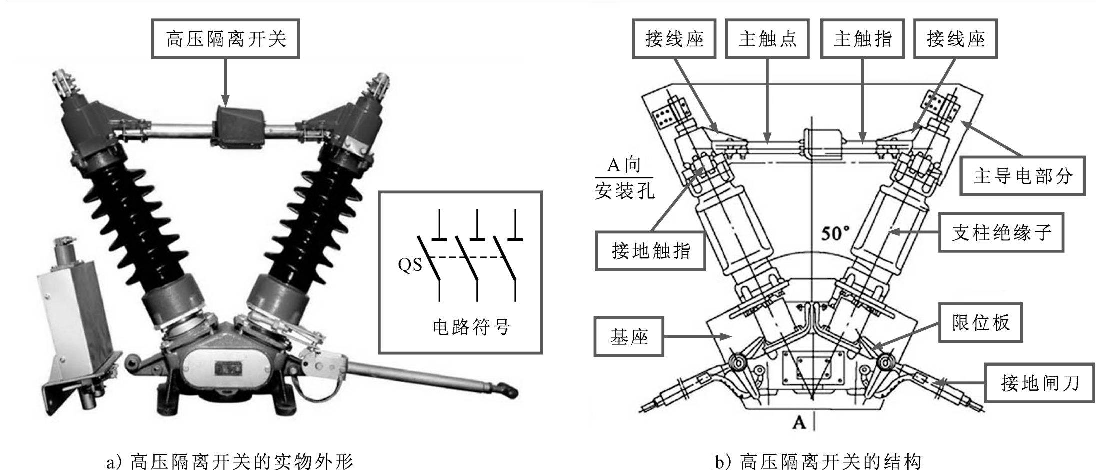


图 2-12　典型高压隔离开关的实物外形和结构

从图2-12中可以看出，高压隔离开关的触头全部敞露在空气中，具有明显的断开点，隔离开关没有灭弧装置，因此不能用来切断负荷较大的电流或短路电流，即不能带负荷操作。在采用隔离开关的线路中一般送电操作时，先合隔离开关，后合断路器或负荷开关；断电操作时，先断开断路器或负荷类开关，后断开隔离开关。



【资料】

高压隔离开关一般应用在变电所、电厂中，用于隔离电源或与断路器配合使用，高压隔离开关的典型应用如图2-13所示。



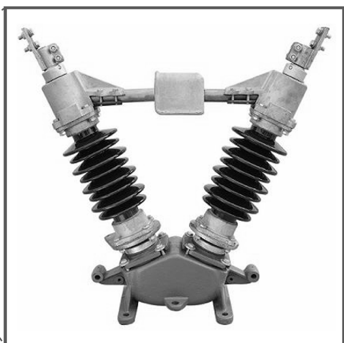


图2-13　高压隔离开关的典型应用

2.2　认识继电器





继电器是一种当输入量（电、磁、声、光、热）达到一定值时，输出量将发生跳跃式变化的自动控制器件。继电器是使用非常普遍的电子器件，在许多机电控制上都采用这种器件。它也是一种可控开关，但与一般开关不同，继电器并非以机械方式控制，而是一种以电流转换成电磁力的方式来控制切换方向的开关。当继电器的线圈通电后，会使衔铁吸合从而接通触点或断开触点。

继电器的种类多种多样，大致可以分为三类，即通用继电器、控制继电器和保护继电器。下面，就来具体为大家讲解一下这三类继电器。

2.2.1　通用继电器的功能



通用继电器既可实现控制功能，也可实现保护功能，常用的控制继电器有电磁继电器和固态继电器。图2-14所示为常见的通用继电器的实物外形。

1. 电磁继电器的功能

电磁继电器通常都是由铁心、线圈、衔铁、触点簧片等组成的。当在线圈两端加上一定的电压时，线圈中产生电流，从而产生电磁效应，衔铁就会在电磁力吸引的作用下克服弹簧片的拉力吸向铁心，来控制触点的吸合。当线圈断电后，电磁吸力消失，衔铁会在弹簧片的反作用力下返



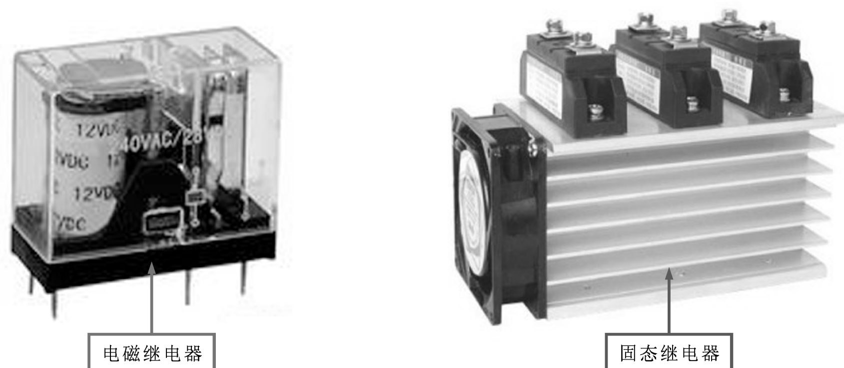
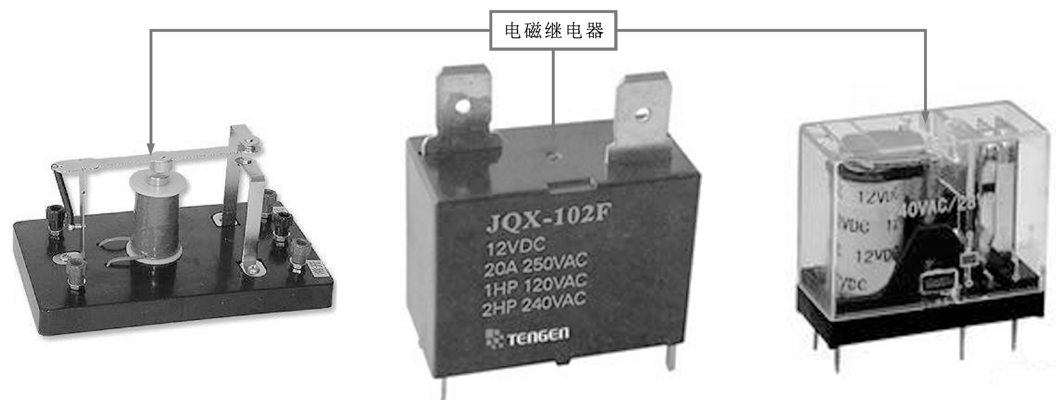
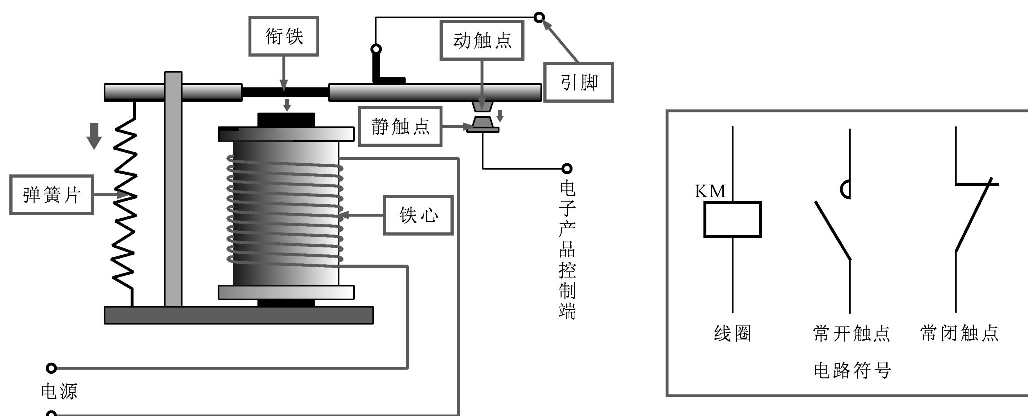


图 2-14　常见的通用继电器的实物外形

回原来的位置，使触点断开。通过这种方法可控制电路的导通与切断。图 2-15 所示为典型电磁继电器的实物外形和内部结构。



a）电磁继电器的实物外形



b）电磁继电器的内部结构

图 2-15　典型电磁继电器的实物外形和内部结构



【资料】

电磁继电器的优点在于其体积小，控制电流小，在使用过程中可以以小的电磁线圈电流控制大的输出功率。

2. 固态继电器的功能

固态继电器（solid state relays，SSR）是一种无触点电子开关，如图2-16所示，主要用来实现控制回路（输入电路）与负载回路（输出电路）的电隔离及信号耦合的通断切换功能。其主要由输入（控制）电路，驱动电路和输出（负载）电路三部分组成。

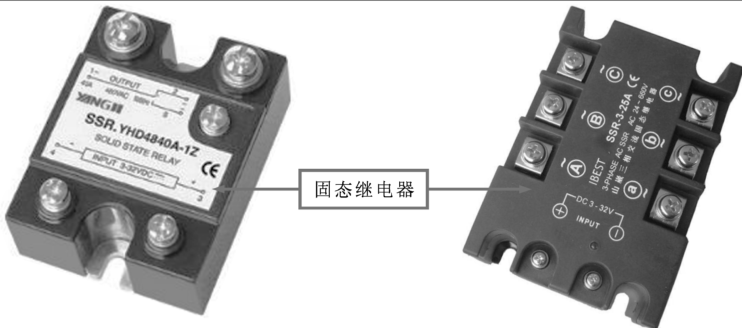


图2-16　典型固态继电器的实物外形



【资料】

固态继电器是由晶闸管制成，其电路应用原理如图2-17所示。固态继电器的优点是高耐压、低噪声，因此使用范围较为广泛，在许多场合可代替电磁式继电器。在使用时要求采用散热器散热并对地绝缘。

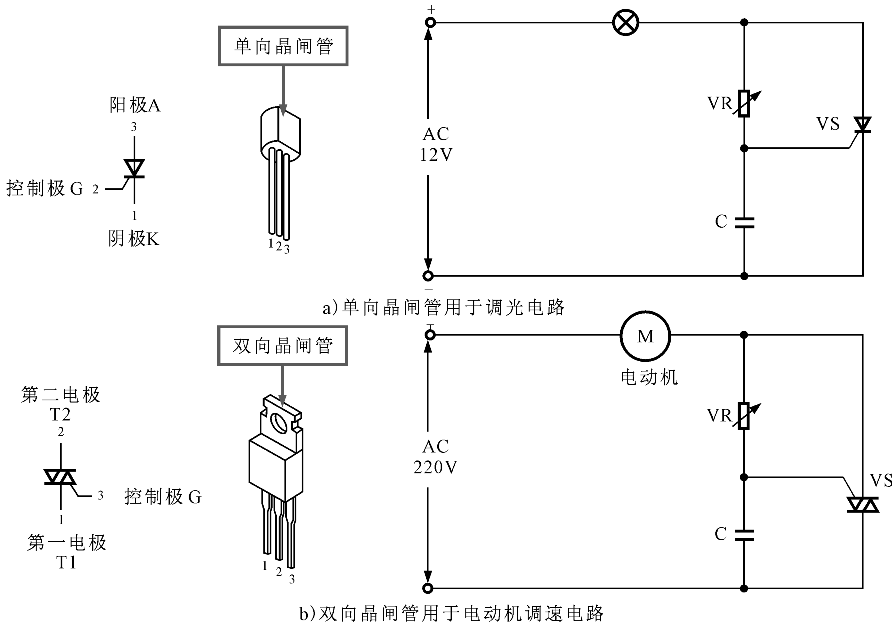


图2-17　由晶闸管控制的电路原理



2.2.2 控制继电器的功能



控制继电器通常用来控制各种电子电路或器件，来实现线路的接通或切断功能。常用的控制继电器有中间继电器、时间继电器、速度继电器、压力继电器等，实物外形如图2-18所示。

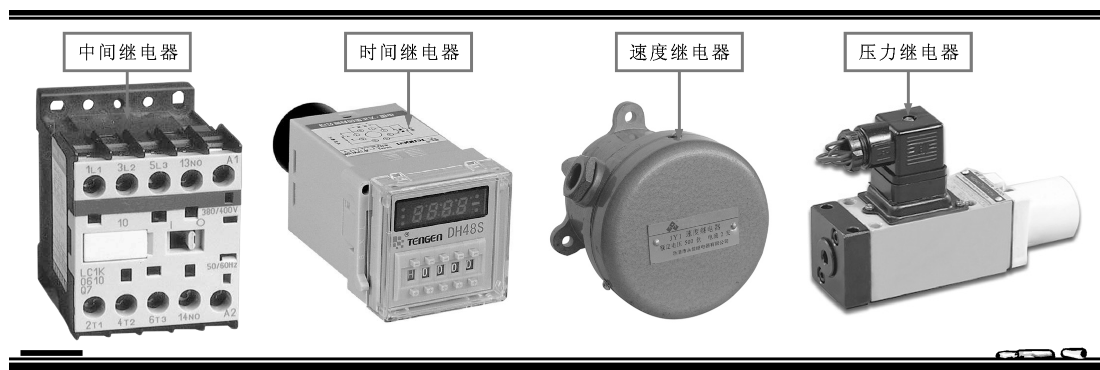


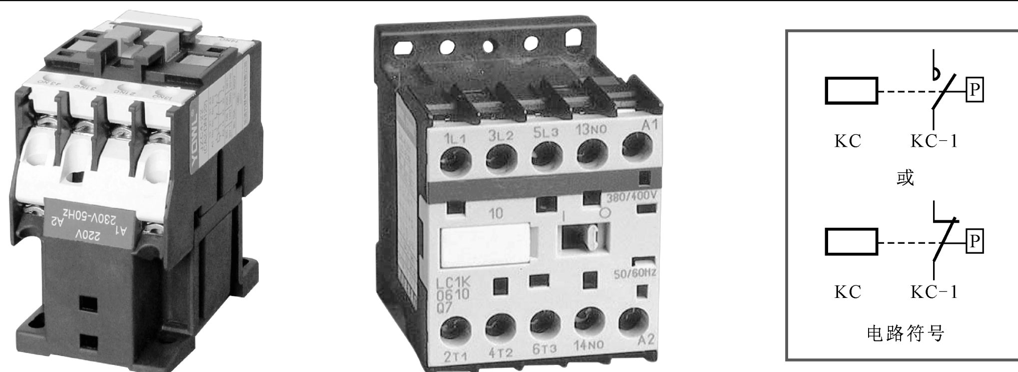
图2-18 常见的控制继电器的实物外形

1. 中间继电器的功能

中间继电器通常用来控制各种电磁线圈使信号得到放大，将一个输入信号转变成一个或多个输出信号。中间继电器的主要特点是在触头系统中，没有主、辅的区别，允许通过的电流也是相等的，触点数量也较多，在控制电路中起到中间放大的作用。图2-19所示为典型中间继电器的实物外形和内部结构。

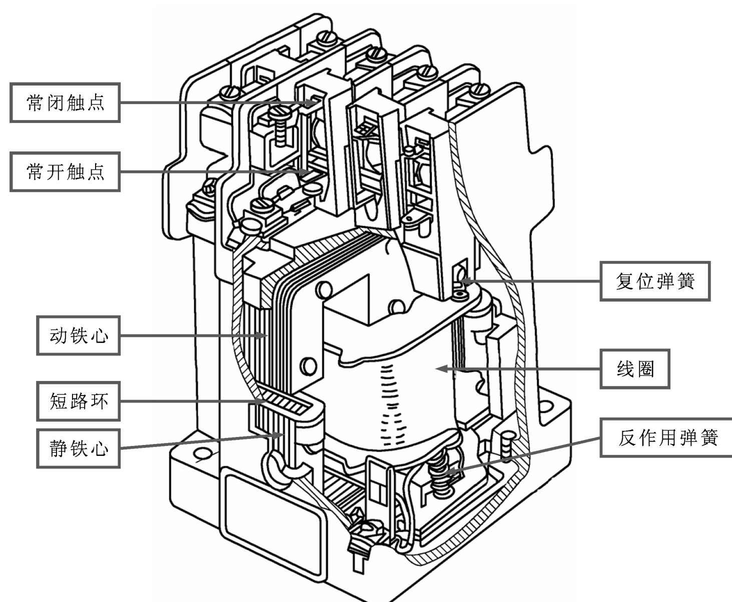
2. 时间继电器的功能

时间继电器是一种延时或周期性定时接通、切断某些控制电路的继电器，主要由瞬间触点、延时触点、弹簧片、铁心、衔铁等部分组成。当线圈通电后，衔铁利用反力弹簧的阻力与铁心吸合。推杆在推板的作用下，压缩宝塔弹簧，使瞬间触点和延时触点动作。图2-20所示为典型时间继电器的实物外形和结构。



a）中间继电器的实物外形

图2-19 典型中间继电器的实物外形和内部结构

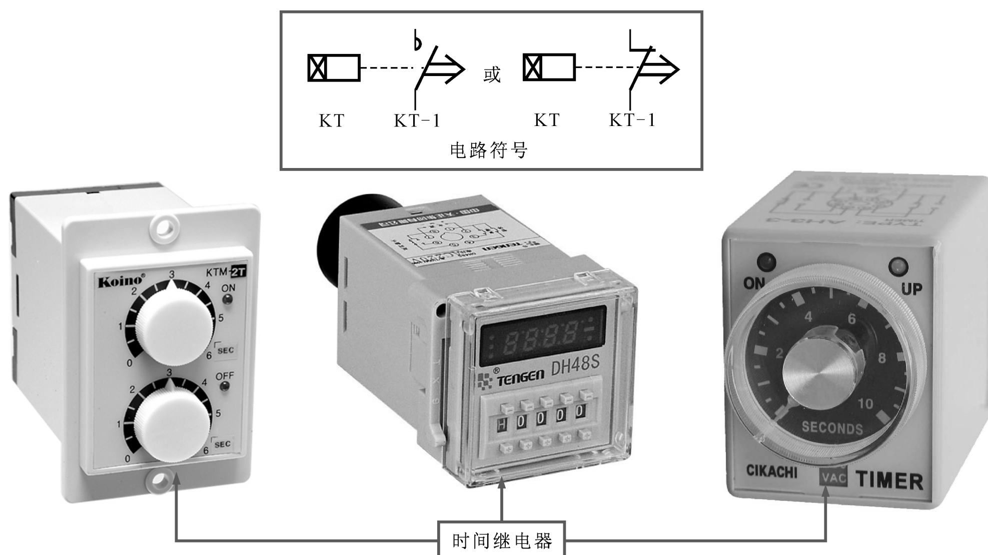


b）中间继电器的内部结构

图 2-19　典型中间继电器的实物外形和内部结构（续）

3. 速度继电器的功能

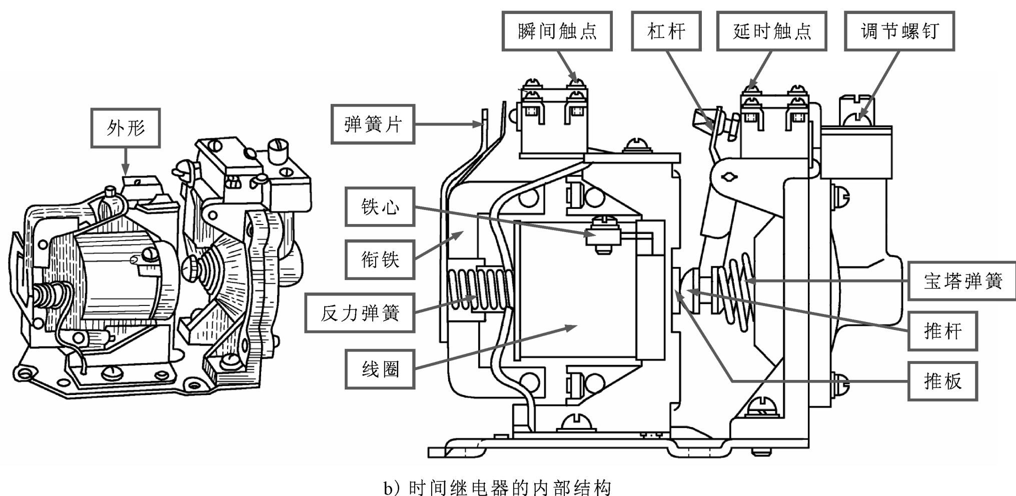
速度继电器又称反接制动继电器，这种继电器主要与接触器配合使用，用来实现电动机的反接制动，主要由转子、定子、支架、胶木摆杆、簧片等部分组成。图 2-21 所示为典型速度继电器的实物外形和内部结构。



a) 时间继电器的实物外形

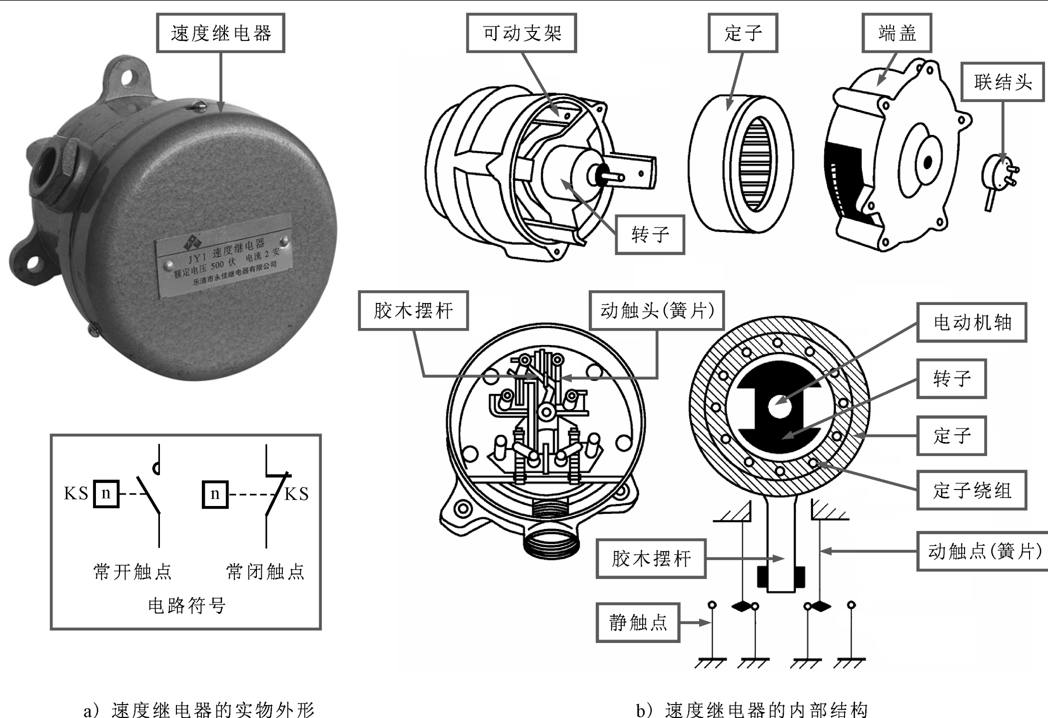
图 2-20　典型时间继电器的实物外形和结构





b）时间继电器的内部结构

图 2-20　典型时间继电器的实物外形和结构（续）



a）速度继电器的实物外形　　b）速度继电器的内部结构

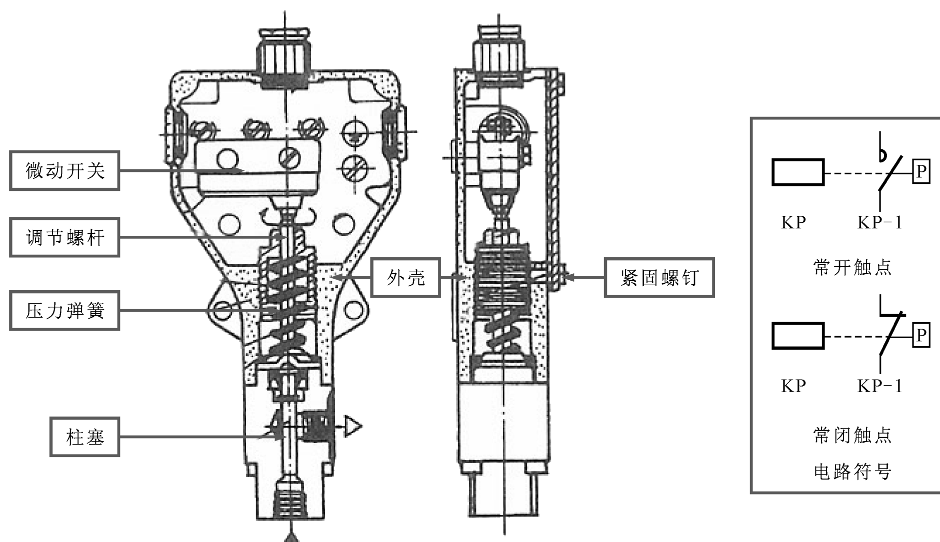
图 2-21　典型速度继电器的实物外形和内部结构

4. 压力继电器的功能

压力继电器是将压力转换成电信号的传感器件，主要检测水、油、气体以及蒸气的压力等，主要由微动开关、调节螺杆、压力弹簧、柱塞紧固螺钉等部分构成。图 2-22 所示为典型压力继电器的实物外形和结构。



a）压力继电器的实物外形



b）压力继电器的内部结构

图 2-22　典型压力继电器的实物外形和结构

2.2.3　保护继电器的功能



保护继电器是一种自动保护器件，可根据温度、电流或电压等的大小，来控制继电器的通断。常用的保护继电器有热继电器、电流继电器、电压继电器及温度继电器等，其实物外形如图 2-23 所示。

1. 热继电器的功能

热继电器是利用电流的热效应原理实现过热保护的一种继电器。它是一种电气保护元件，主要由复位按钮、热感应器件（双金属片）、触点、动作机构等部分组成。它利用电流的热效应来推动动作机构使触点闭合或断开以保护电器，主要用于电动机的过载保护、断相保护、电流不平衡保护以及其他电气设备发热状态的控制。图 2-24 所示为典型热继电器的实物外形和内部结构。

2. 电流继电器的功能

电流继电器是指根据继电器线圈中电流大小而接通或断开电路的继电器。通常情况下，电流





图2-23　常见的保护继电器的实物外形

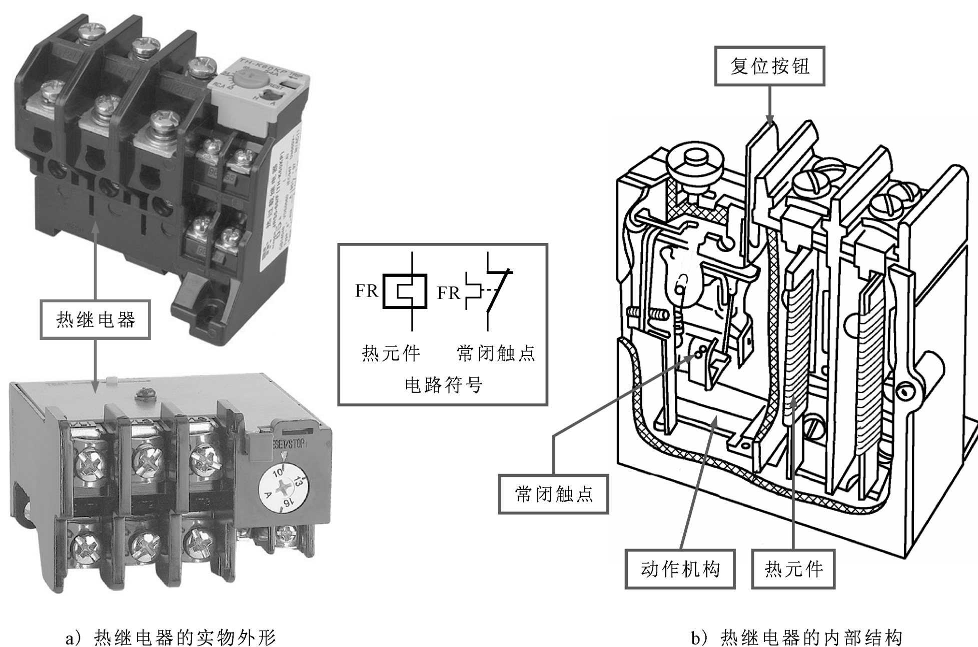


图2-24　典型热继电器的实物外形和内部结构

继电器分为过电流继电器、欠电流继电器以及交流通用继电器三种。图2-25所示为典型电流继电器的实物外形。

提问

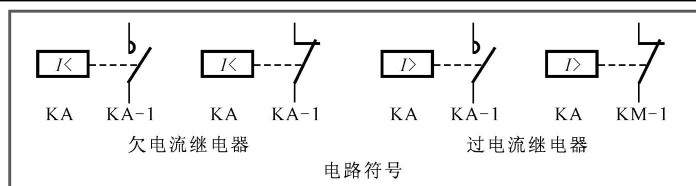
请问过电流继电器和欠电流继电器的区别是什么？





过电流继电器是指线圈中的电流高于容许值时动作的继电器；欠电流继电器是指线圈中的电流低于容许值时动作的继电器。

回答



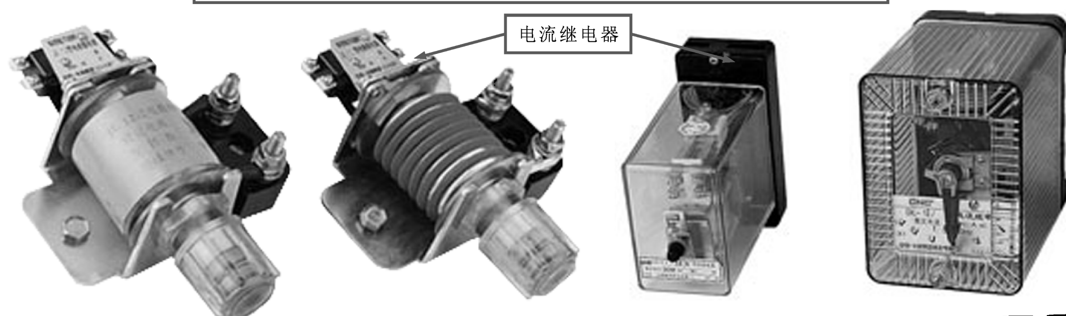


图 2-25　典型电流继电器的实物外形

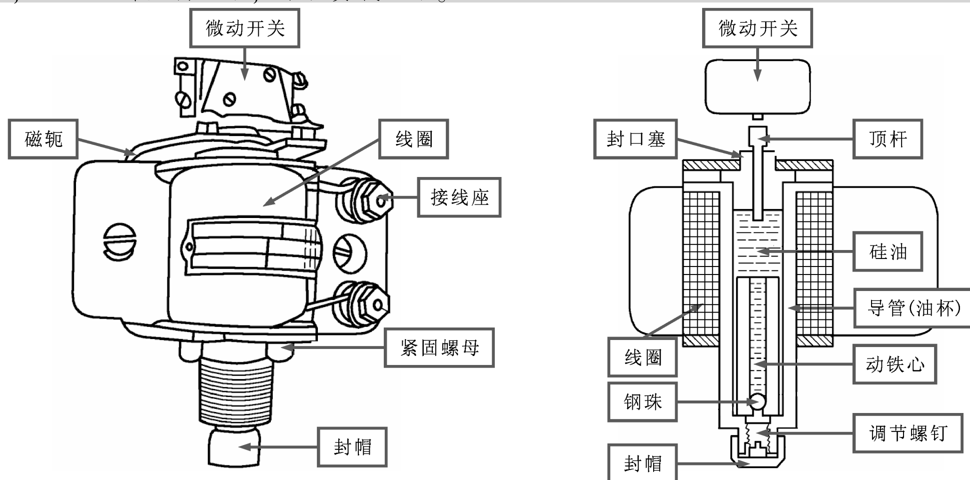


【资料】

图 2-26 所示为 JL12 系列电流继电器和 JT4 系列交流通用继电器的结构。

◆ JL12 系列电流继电器主要由电流线圈、微动开关、动铁心等部分构成。在使用 JL12 系列电流继电器时，线圈串联在主回路中，常闭触点串联于控制回路中。当连接的负载出现过载或过电流的现象时，动铁心受到电磁力的作用向上运动，这时钢珠会把油孔关闭。推动顶杆，使微动开关的常闭触点分断，断开电源，从而保护电动机。当电动机无故障时，继电器动铁心在重力的作用下将返回原位，通电继续工作。

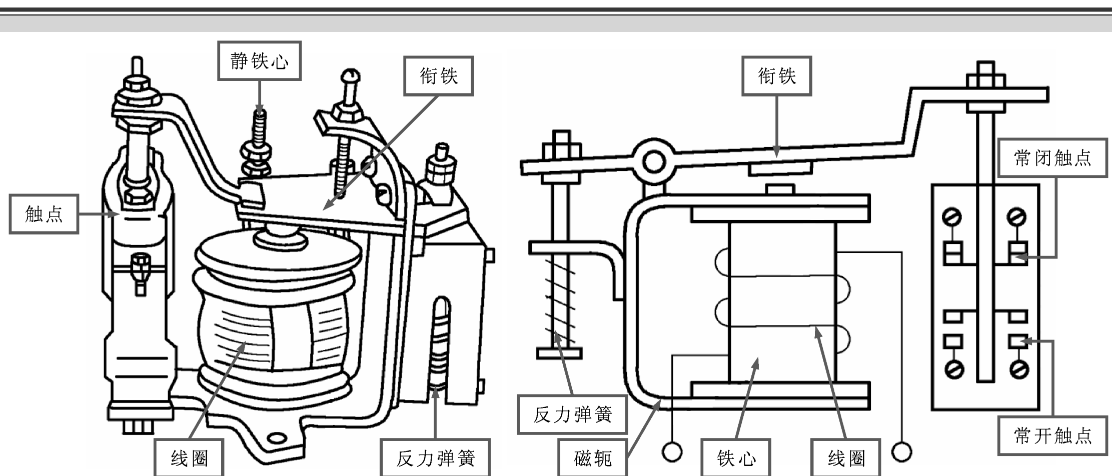
◆ JT4 系列交流通用继电器主要由常闭、常开触头、衔铁、磁轭、铁心、线圈等部分组成。当流经线圈的电流超过容许值时，电磁引力将大于弹簧力，铁心会吸合衔铁，使常闭触点断开，从而切断控制回路，保护负载电路。



a）JL12系列电流继电器的结构

图 2-26　JL12 系列电流继电器和 JT4 系列交流通用继电器的结构





b）JT4系列交流通用继电器的结构

图 2-26　JL12 系列电流继电器和 JT4 系列交流通用继电器的结构（续）

3. 电压继电器的功能

电压继电器又称零电压继电器，是一种按电压值动作的继电器，主要用于交流电路的欠电压或零电压保护。图 2-27 所示为典型电压继电器的实物外形。

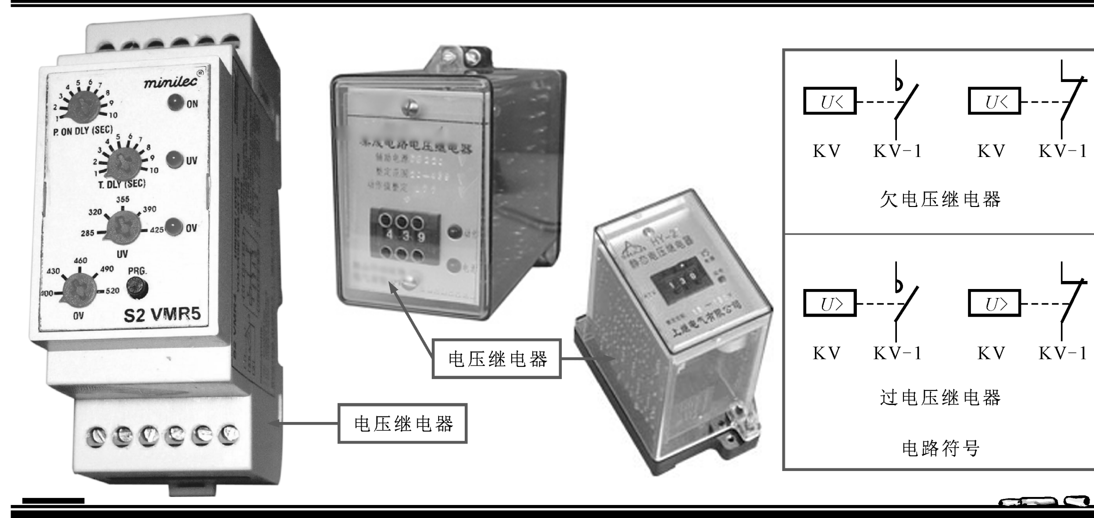


图 2-27　典型电压继电器的实物外形

提问

请问电压继电器与电流继电器在结构上的区别是什么？





电压继电器与电流继电器在结构上的区别主要在于线圈的不同。电压继电器线圈与负载并联，反映的是负载电压，线圈匝数多，而且导线较细；电流继电器的线圈与负载串联，反映的是负载电流，线圈匝数少，而且导线较粗。

回答

4. 温度继电器的功能

温度继电器是一种通过温度变化控制电路导通与切断的继电器，当温度达到温度继电器设定值时，温度继电器会断开电路，起温度控制和保护作用。图 2-28 所示为典型温度继电器的实物外形。



图 2-28　典型温度继电器的实物外形

2.3　认识接触器





接触器是一种由电压控制的开关装置，适用于远距离频繁地接通和断开交直流电路的系统中。它属于一种控制类器件，是电力拖动系统、机床设备控制电路、自动控制系统中使用最广泛的低压电器之一。

根据接触器触点通过电流的种类，主要可分为交流接触器和直流接触器两类。下面，就来为大家具体介绍一下交流接触器和直流接触器的功能。

2.3.1　交流接触器的功能



交流接触器是一种应用于交流电源环境中的通断开关，在目前各种控制线路中应用最为广泛。具有欠电压/零电压释放保护、工作可靠、性能稳定、操作频率高、维护方便等特点，图 2-29 所示为各种交流接触器的实物外形。

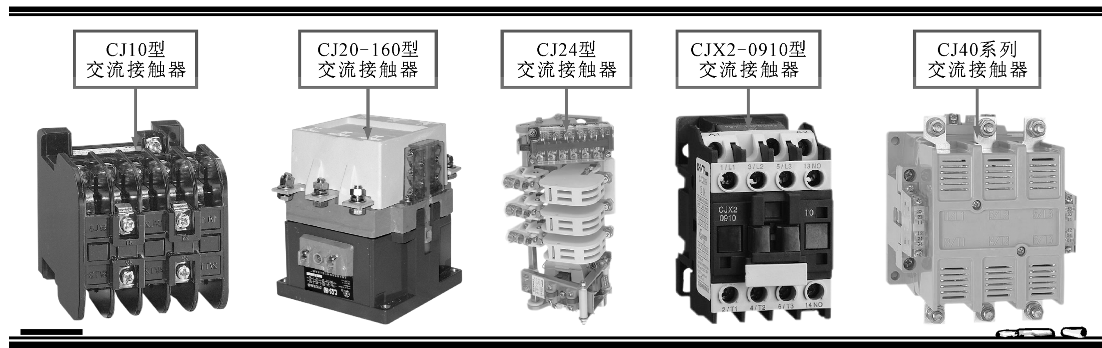


图 2-29　各种交流接触器的实物外形



交流接触器主要由电磁线圈、主触点、辅助触点、动铁心、静铁心和接线端等部分组成，如图2-30所示。其中，静/动铁心、电磁线圈、主辅触点为接触器内部的核心部分，在交流接触器静铁心上装有短路环，主要用于减小交流接触器吸合时所产生的振动和噪声。

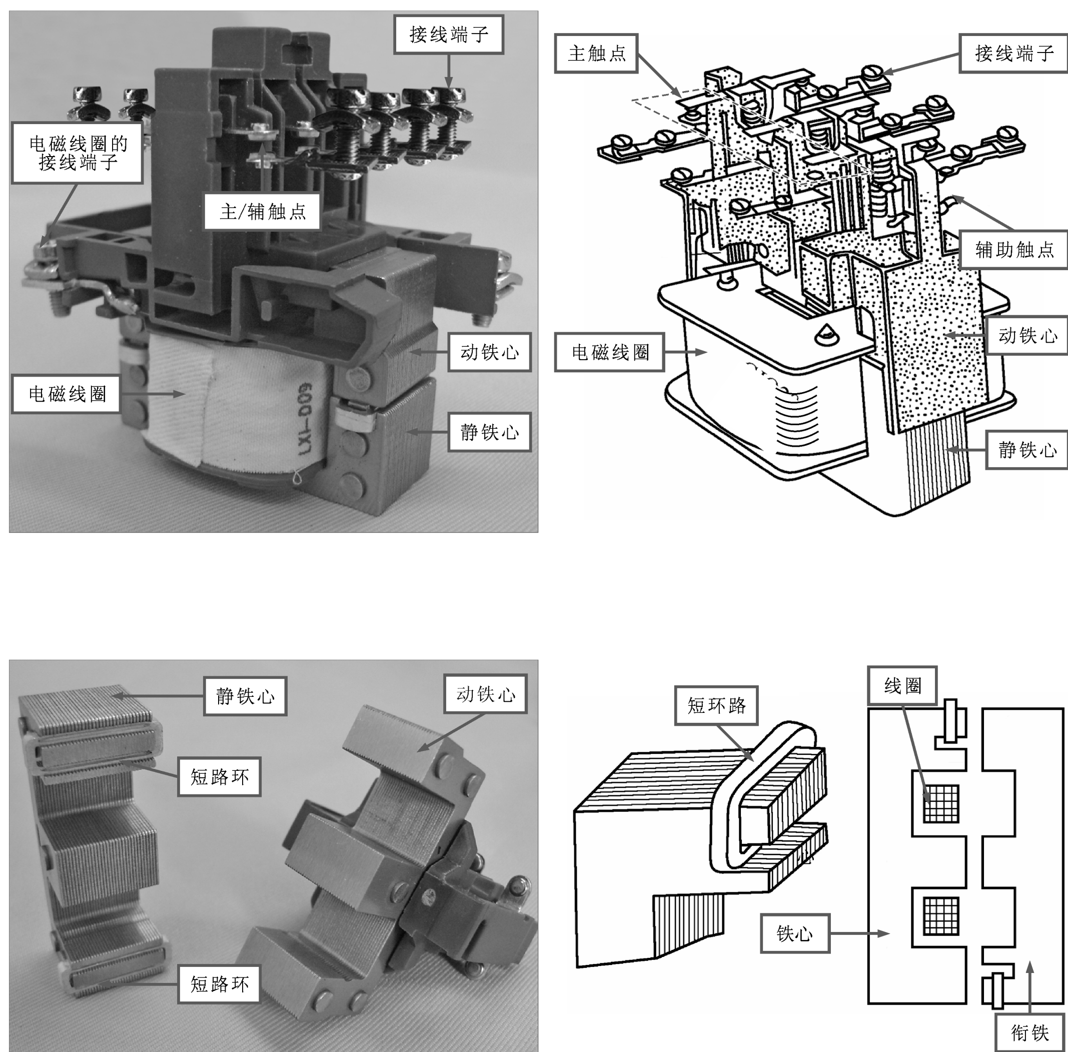


图2-30　交流接触器的内部结构



【资料】

在实际应用中，交流接触器主要作为交流供电电路中的通断开关，实现远距离接通与分断电路功能（如交流电动机的开断控制线路）。图2-31所示为交流接触器在三相交流电动机连续控制线路中的应用。

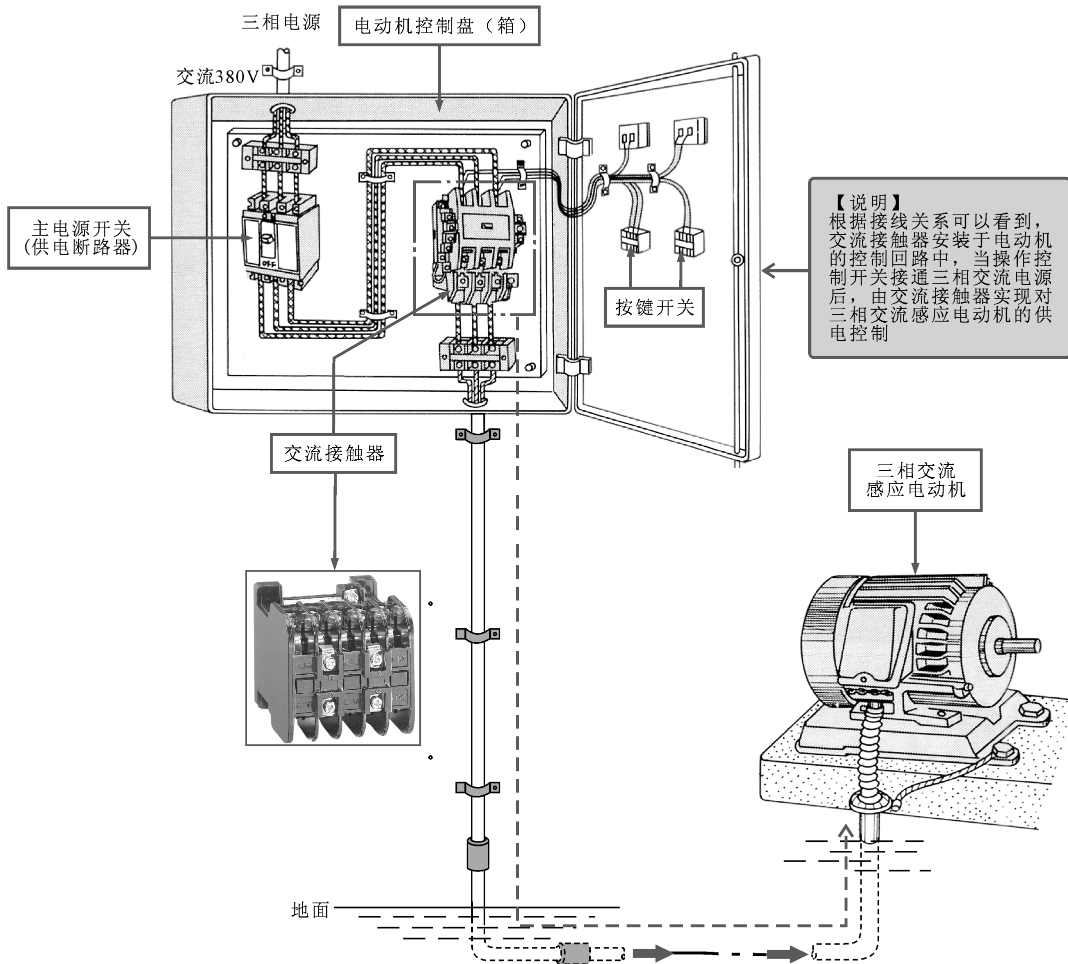


图 2-31　交流接触器在三相交流电动机连续控制线路中的应用

2.3.2　直流接触器的功能



直流接触器是一种应用于直流电源环境中的通断开关，也具有低电压释放保护、工作可靠、性能稳定等特点，图 2-32 所示为典型直流接触器的实物外形。

直流接触器主要由灭弧罩、静触头、动触头、吸引线圈等部分组成，如图 2-33 所示。当直流接触器的动触头在断开直流大电流时，会产生强烈的电弧，由于直流电弧的特殊性，一般采用磁吹式灭弧。





图 2-32　典型直流接触器的实物外形

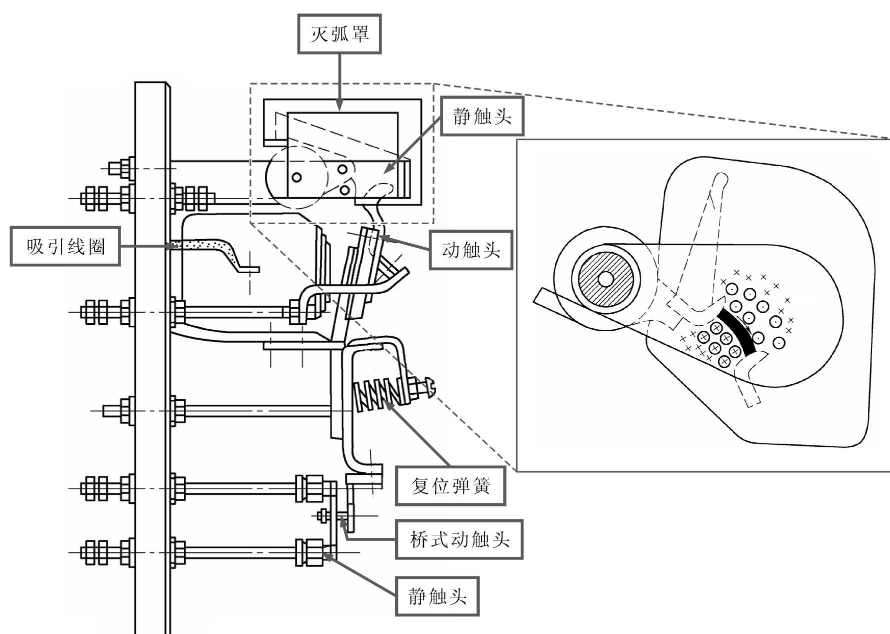


图 2-33　直流接触器的内部结构示意图

【资料】

在实际应用中，直流接触器用于远距离接通与分断直流供电或控制线路。常见的有直流电动机的起停控制。图 2-34 所示为直流接触器在典型直流电动机的起停控制电路中的应用。

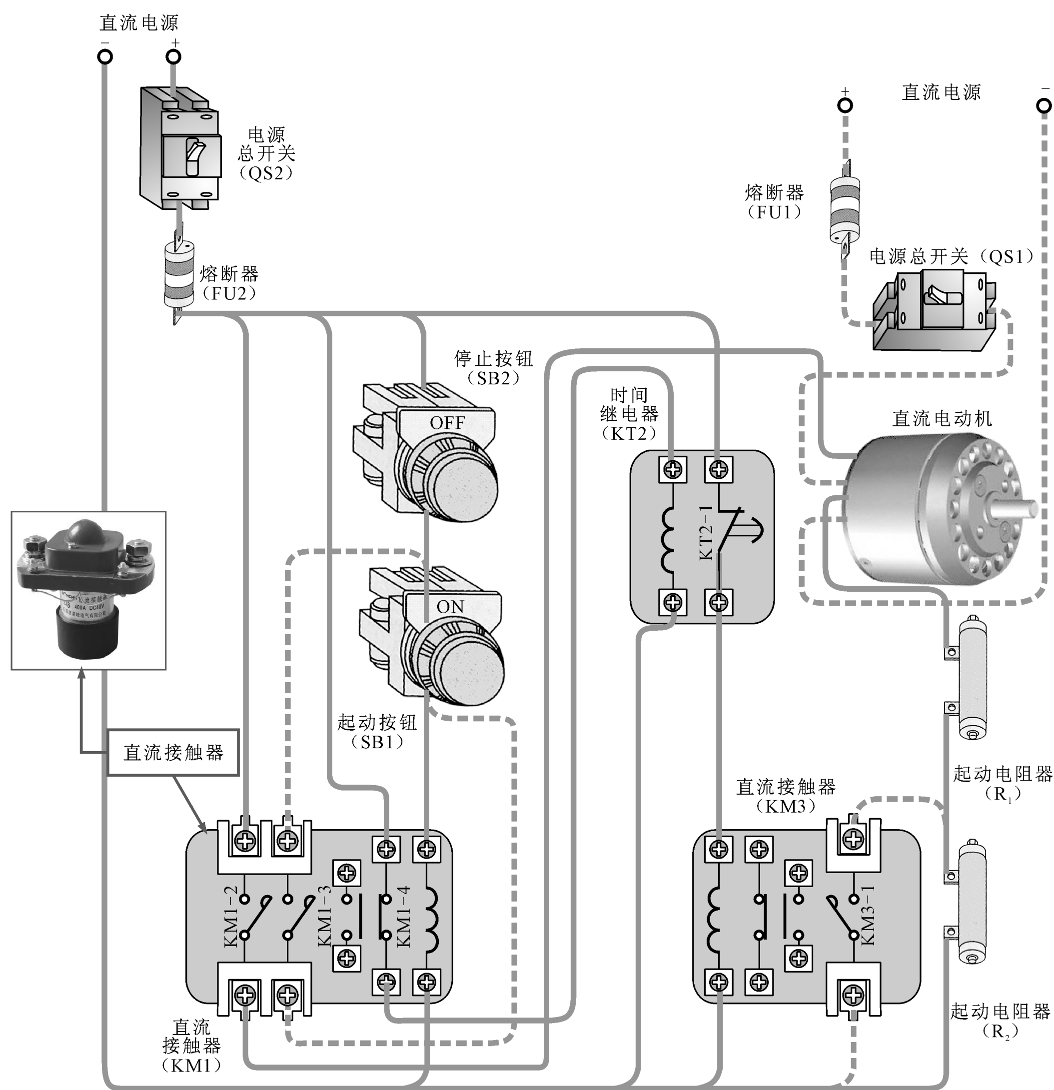


图 2-34　直流接触器在典型直流电动机的起停控制电路中的应用

2.4　认识传感器





传感器是指能感受并能按一定规律将所感受的被测物理量等（如温度、湿度、光线、速度、浓度、位移、重量、压力、声音等）转换成便于处理与传输的电量的器件或装置。简单说，传感器是一种将外界信号转换为电信号的器件，其结构如图 2-35 所示。



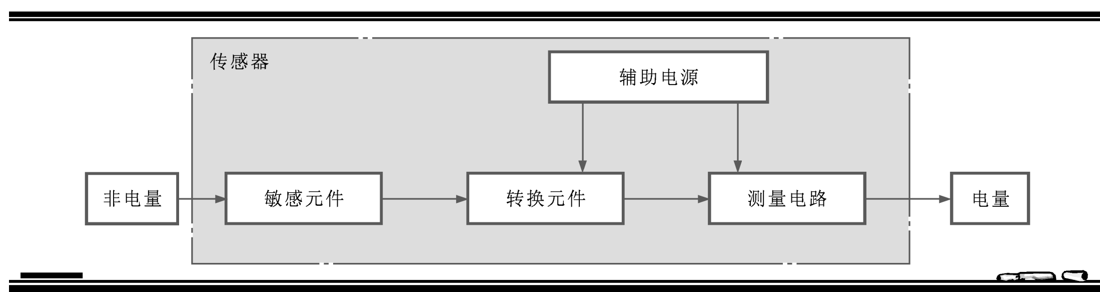


图 2-35 传感器的结构组成

传感器件的种类较多，分类方式也多种多样。通常根据其基本感知功能可分为光电传感器、温度传感器、湿度传感器、磁场（霍尔）传感器等。下面，就来为大家介绍一下这四类典型的传感器的功能。

2.4.1 光电传感器的功能



光电传感器是指能够将可见光转换成某种电量的传感器。光电传感器也叫光电器件，它可以将光信号直接转换成电信号。现在的光电器件多为半导体材料制成，主要有光敏电阻器、光敏二极管、光敏晶体管、光耦合器及光电池等。常见光电传感器的实物外形如图 2-36 所示。

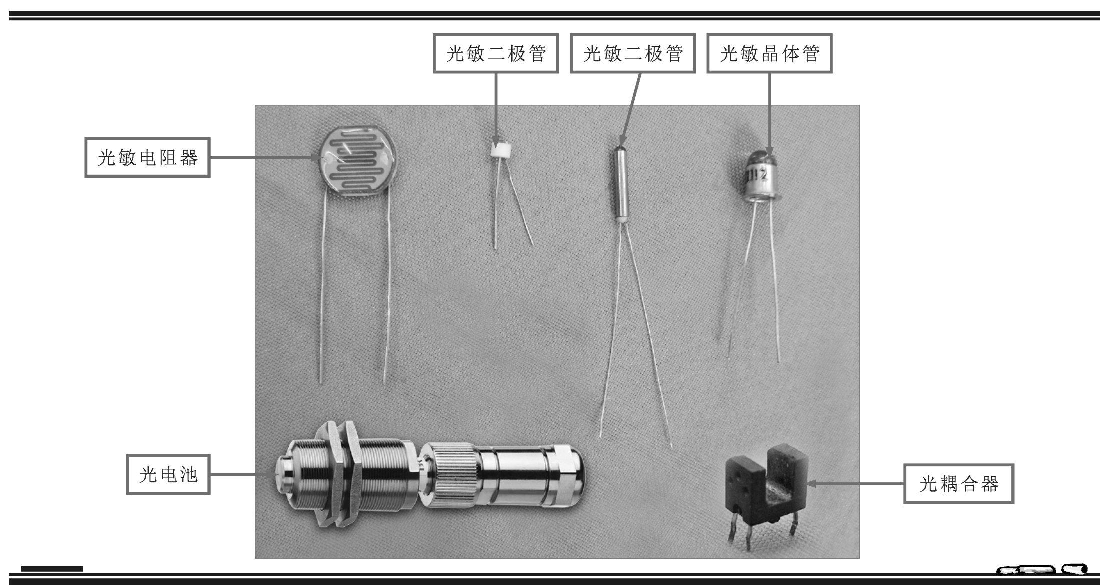


图 2-36 常见光电传感器的实物外形

1. 光敏电阻器的功能

光敏电阻器是一种对光敏感的元件，大多数是由半导体材料制成的。它利用半导体的光导电特性，使电阻器的电阻值随入射光线的强弱发生变化（即当入射光线增强时，它的阻值会明显减小；当入射光线减弱时，它的阻值会显著增大）。图 2-37 所示为光敏电阻器的实物外形。

光敏电阻器的种类很多，由于所用导体材料不同，又可分为单晶光敏和多晶光敏电阻器。根据光敏电阻的光谱特性，又可分为红外光光敏电阻器、可见光光敏电阻器及紫外光光敏电阻

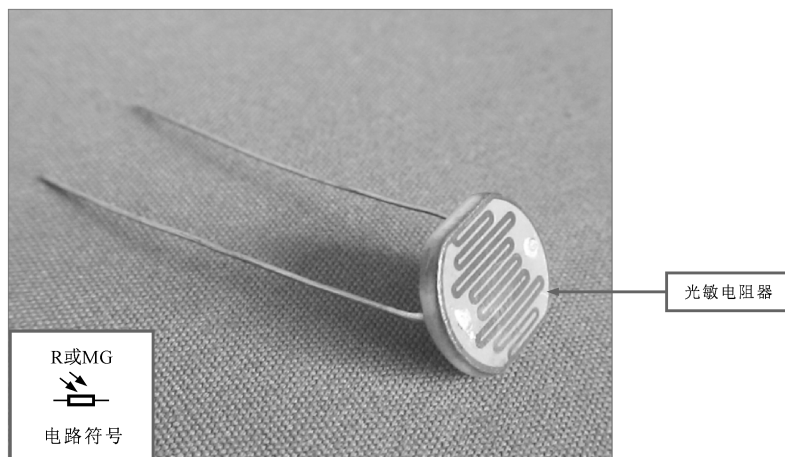


图 2-37　光敏电阻器的实物外形

器等。

2. 光敏二极管的功能

光敏二极管又称为光电二极管，是最常见的光电传感器，其外形如图 2-38 所示。光敏二极管的管壳上开有一个嵌着玻璃的窗口，以便于光线射入。该器件当受到光的照射时，其反向阻抗会随之变化。

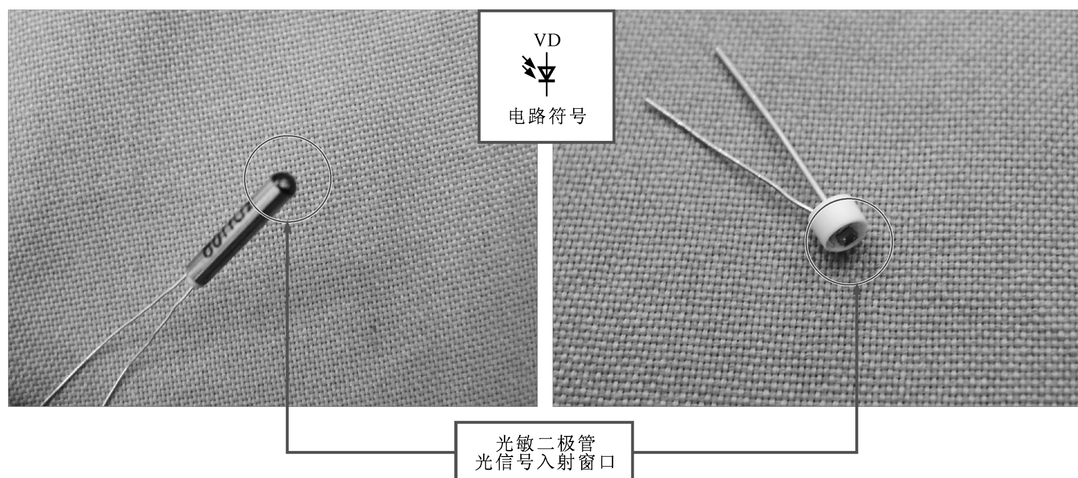


图 2-38　光敏二极管的实物外形

通常，光敏二极管在光线照射下，反向电阻会由大变小，其顶端有能射入光线的窗口，光线可通过该窗口照射到管芯上。

3. 光敏晶体管的功能

光敏晶体管是一种具有放大能力的光—电转换器件，因此相比光敏二极管它具有更高的灵敏度，广泛应用于各种自动光控电路中。常见的光敏晶体管实物外形如图 2-39 所示，该类传感器件有感应光线的光信号窗口，能够通过感受光线的强弱，输出相应的信号。



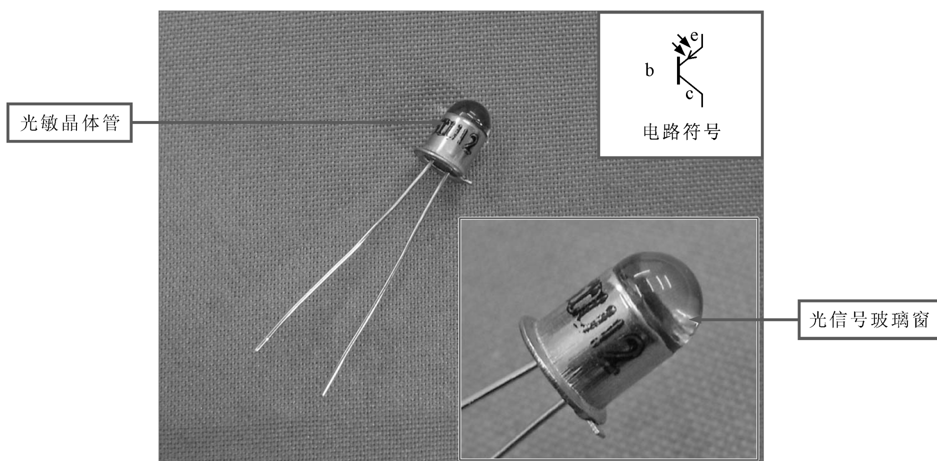


图2-39 光敏晶体管的实物外形



【注意】

需要注意的是，光敏晶体管既有三个引脚的，也有两个引脚的（如上图中所示），使用时要注意辨别，不要将两个引脚的光敏晶体管误认为光敏二极管使用。

光敏晶体管在无光照时处于截止状态。当光线照射其受光窗口（基极）时，集电极与发射极之间的阻抗会降低，在外加电压的条件下会形成光电流，随照射光线强度的增大，其电阻值逐渐减小。

4. 光耦合器的功能

光耦合器是近年来应用日益广泛的一种半导体光电器件。该类传感器具有体积小、寿命长、抗干扰强且在电气上完全隔离等优点。图2-40所示为一种典型光耦合器的实物外形。

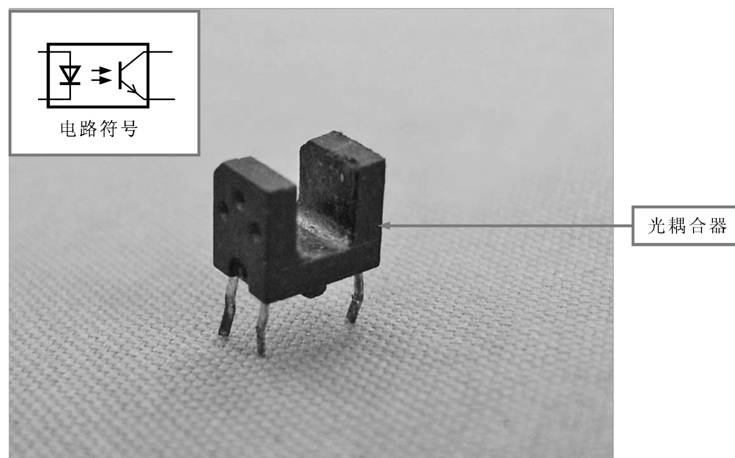


图2-40 一种典型光耦合器的实物外形

该类型的光耦合器实际上可以看作是由发光二极管和光敏晶体管构成的，它的工作过程就是一个电→光→电的变换过程，电信号输送到发光二极管后，二极管发光，并将光信号射向光敏晶体管的光入射窗口（基极），光敏晶体管受光后又将光信号变成电信号输出，从而实现了输入电信号与输出电信号间的光传输，具有输入与输出之间电气隔离的作用。

5. 光电池的功能

光电池传感器是一种可直接将光能转换成电能的器件，又称太阳能电池。该类传感器利用光线直接感应出电动势，并且根据接收光照射的强度，产生大小不同的电流。图 2-41 所示为几种常见的光电池实物外形。



图 2-41　几种常见光电池的实物外形



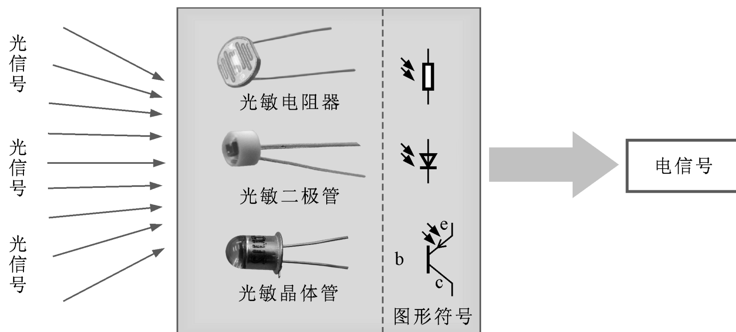
【注意】

光电池传感器具有无热污染等优点，但其转换效率较低。



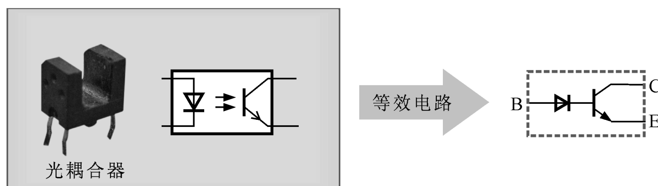
【资料】

光电传感器是指通过传感器件（如光敏电阻器、光敏二极管、光敏晶体管、光耦合器及光电池等）感知光信号的变化，并将这一变化量转化为电量，如图 2-42 所示。



a）光敏电阻器、光敏二极管、光敏晶体管工作原理

图 2-42　光电传感器的工作原理



b）光耦合器工作原理

图 2-42　光电传感器的工作原理（续）

2. 4. 2　温度传感器的功能

温度是日常生活、医学、工农业生产及科研等各个领域广泛接触的物理量，而测控温度的关键是热敏元件，即温度传感器，也称热-电传感器。这类传感器应用领域极为广泛，用于各种需要对温度进行控制、测量、监视及补偿的场合。温度传感器的种类比较多，一般电子产品中常见的主要有热敏电阻类传感器。图 2-43 所示为普通热敏电阻器的实物外形。

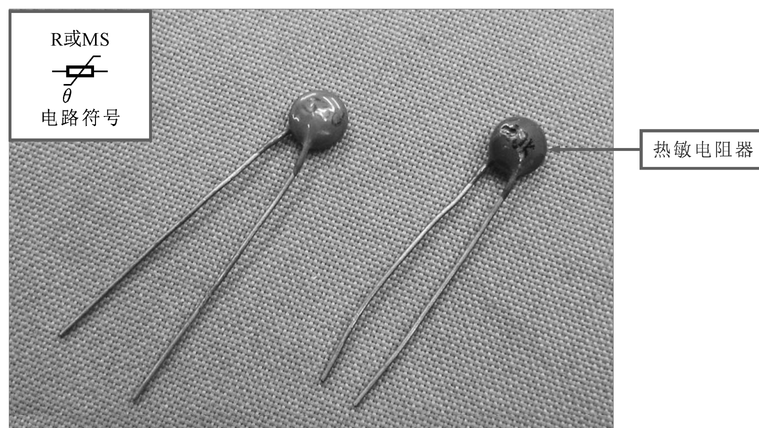


图 2-43　普通热敏电阻器的实物外形



【资料】

温度传感器的主要功能是利用电阻值随温度变化而变化这一特性来测量温度及与温度有关的参数。在温度检测精度要求比较高的场合，这种传感器比较适用。

另外，温度传感器根据其感应特性不同可分为 PTC 传感器和 NTC 传感器两大类。其中，NTC 传感器为负温度系数传感器，即，传感器阻值随温度的升高而减小；PTC 传感器为正温度系数传感器，即，传感器阻值随温度的升高而增大。

图 2-44 为温度传感器的工作原理示意图。

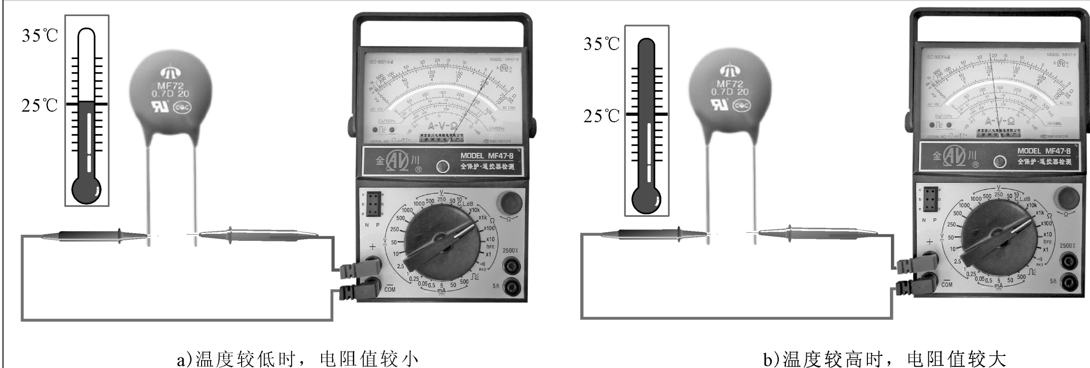


图 2-44　温度传感器的工作原理示意图

2.4.3　湿度传感器的功能



常见的湿度传感器是一种湿敏电阻，它的电阻值对环境湿度比较敏感。该传感器的电阻值会随着环境的湿度的变化而变化，图 2-45 所示为其典型的实物外形。

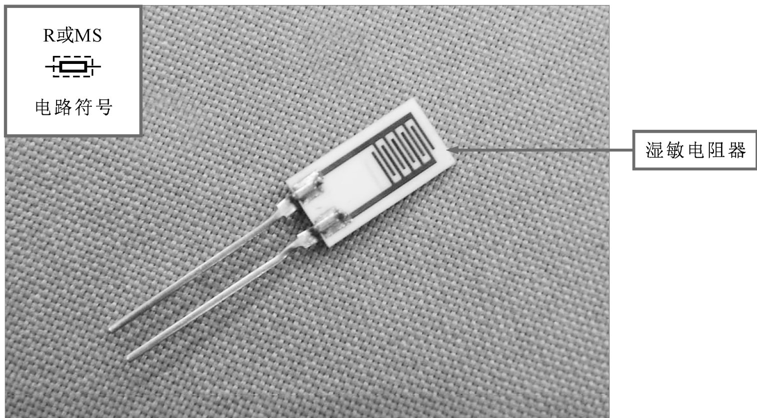


图 2-45　典型湿度传感器的实物外形

湿度传感器主要有电阻式、电容式两大类。在工农业生产、气象、环保、国防、科研、航空等部门，经常需要对环境湿度进行测量及控制。



【资料】

湿度传感器是通过感知环境湿度的变化，将该变化量转换为电量的过程，图 2-46 所示为湿度传感器的工作原理示意图。



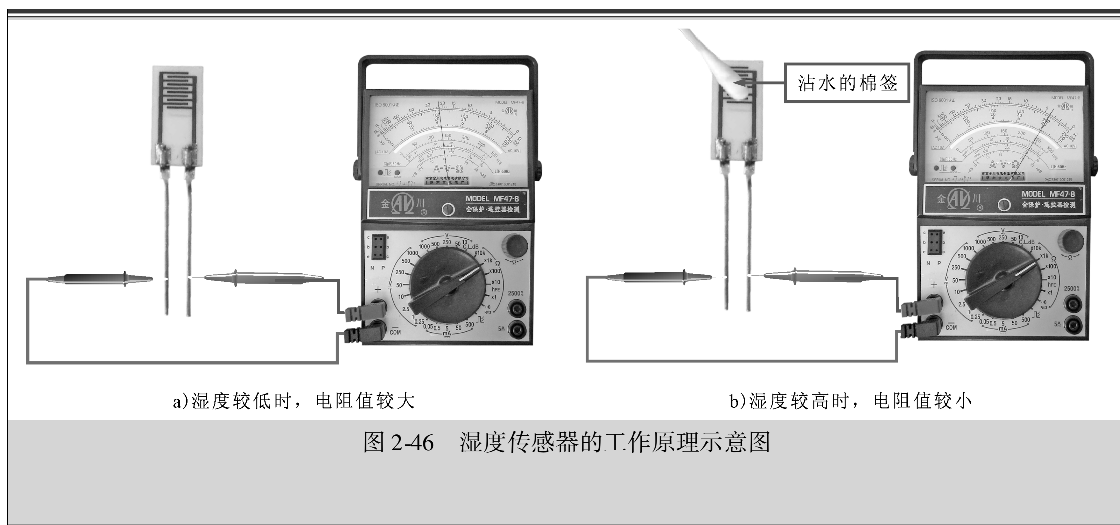


图 2-46　湿度传感器的工作原理示意图

2.4.4　霍尔（磁电）传感器的功能特点



霍尔传感器又称磁电传感器，主要由霍尔元件构成。霍尔元件是一种特殊的半导体器件。该类传感器具有尺寸小、性能优良等特点，目前广泛应用于机械测试及自动化测量领域，在伺服电机中得到广泛的应用（检测转子磁极的相位）。

图 2-47 所示为典型的霍尔传感器的实物外形及内部结构。该传感器是将霍尔元件和放大电路集于一体，因而也被称为霍尔 IC。

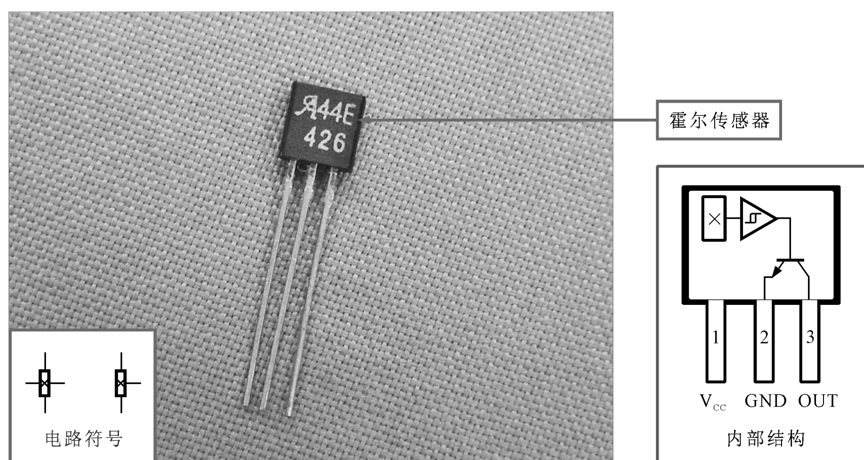


图 2-47　典型霍尔传感器的实物外形及内部结构



【注意】

图 2-47 中，霍尔传感器的外形与晶体管很相似，应注意区分引脚功能。一般霍尔元件三个引脚的排列顺序为：有数字或字母标识的一面朝上，从左到右分别为：电源端、接地端和信号输出端。


【资料】

霍尔传感器是将霍尔元件、放大器、温度补偿电路及稳压电源集成到一个芯片上的器件。当变化的磁场作用到霍尔传感器时，其内部的霍尔元件会产生与磁场相对应的电压信号，该信号经整形和放大后由信号输出端输出。霍尔传感器工作时必须外加工作电压。图2-48为其电路原理图。

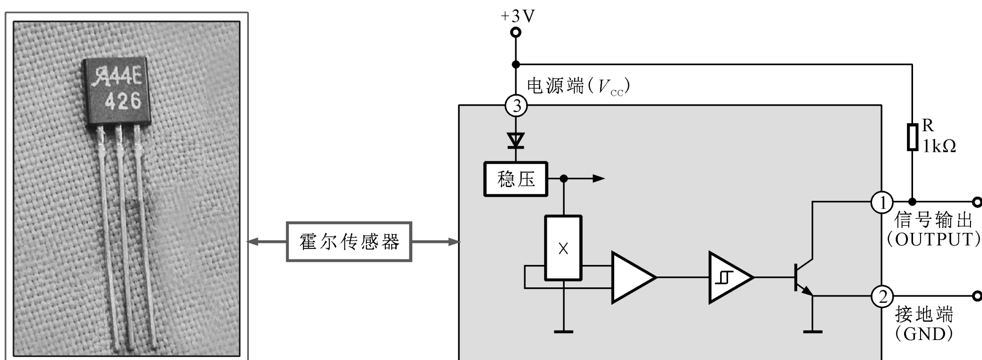


图2-48　霍尔传感器电路原理图

2.5　认识保护器





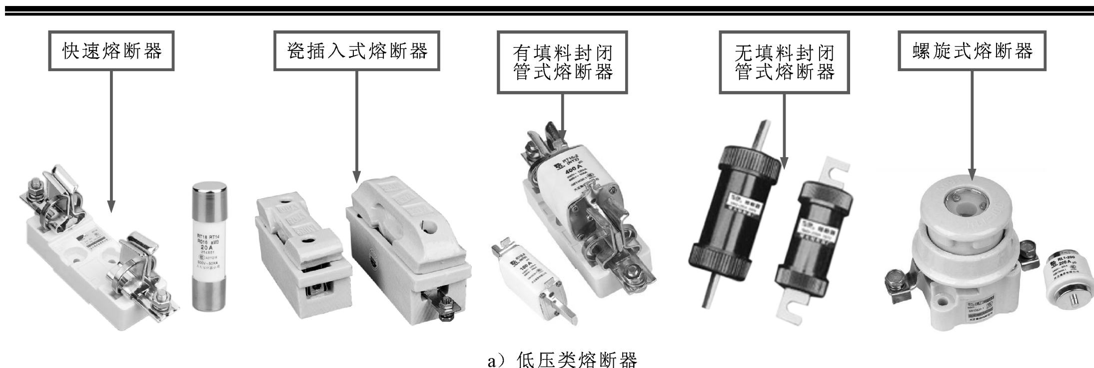
保护器是指对其所应用电路具有过电流、短路、漏电等保护功能的器件，一般具有自动切断线路实现保护功能的特点。根据结构和原理不同，保护器主要可分为熔断器和断路器两大类。下面，就来为大家分别讲解熔断器和断路器的种类和功能。

2.5.1　熔断器的功能



熔断器是指在配电系统中用于线路和设备的短路及过载保护的器件。当系统正常工作时，熔断器相当于一根导线，起通路作用；当通过熔断器的电流大于规定值时，熔断器会使自身的熔体熔断而自动断开电路，从而对线路上的其他电器设备起保护作用。

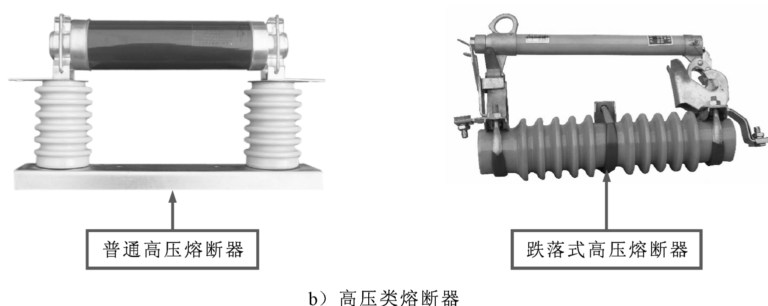
根据应用场合，熔断器有高低压之分。常用的低压熔断器有瓷插入式熔断器、螺旋式熔断器、无填料封闭管式熔断器和有填料封闭管式熔断器几种。高压熔断器主要有普通高压熔断器、跌落式熔断器等，如图2-49所示。



a）低压类熔断器

图2-49　典型熔断器的实物外形



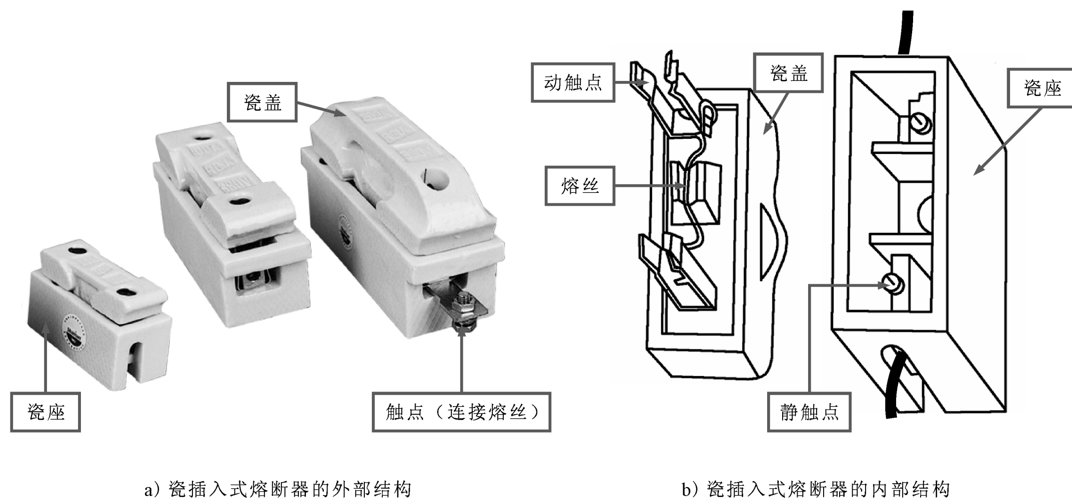


b）高压类熔断器

图2-49 典型熔断器的实物外形（续）

1. 瓷插入式熔断器的功能

瓷插入式熔断器（RC1A系列）主要由瓷座、瓷盖、静触点、动触点和熔丝等组成，如图2-50所示。其中瓷盖和瓷座均用电工陶瓷制成，电源线和负载电源线分别接在瓷座两端的静触点上。瓷座中部还有一个空腔，与瓷盖的凸出部分组成灭弧室。



a）瓷插入式熔断器的外部结构　　b）瓷插入式熔断器的内部结构

图2-50 瓷插入式熔断器的结构特点



【资料】

瓷插入式熔断器主要用于民用和工业企业的照明380V三相电路和220V单相电路作短路保护中，不宜用在精密电器中，因为这种熔断器的电弧比较大。

2. 螺旋式熔断器的功能

螺旋式熔断器主要由瓷帽、熔断管、上接线端、下接线端和底座等组成，如图2-51所示。其中，熔断管内装有熔丝以及石英砂，石英砂的作用是熄灭电弧。



【资料】

螺旋式熔断器用于交流50Hz或60Hz，额定电压至660V，额定电流200A左右的电路中，主要起到对配电设备、导线等过载和短路保护的作用。

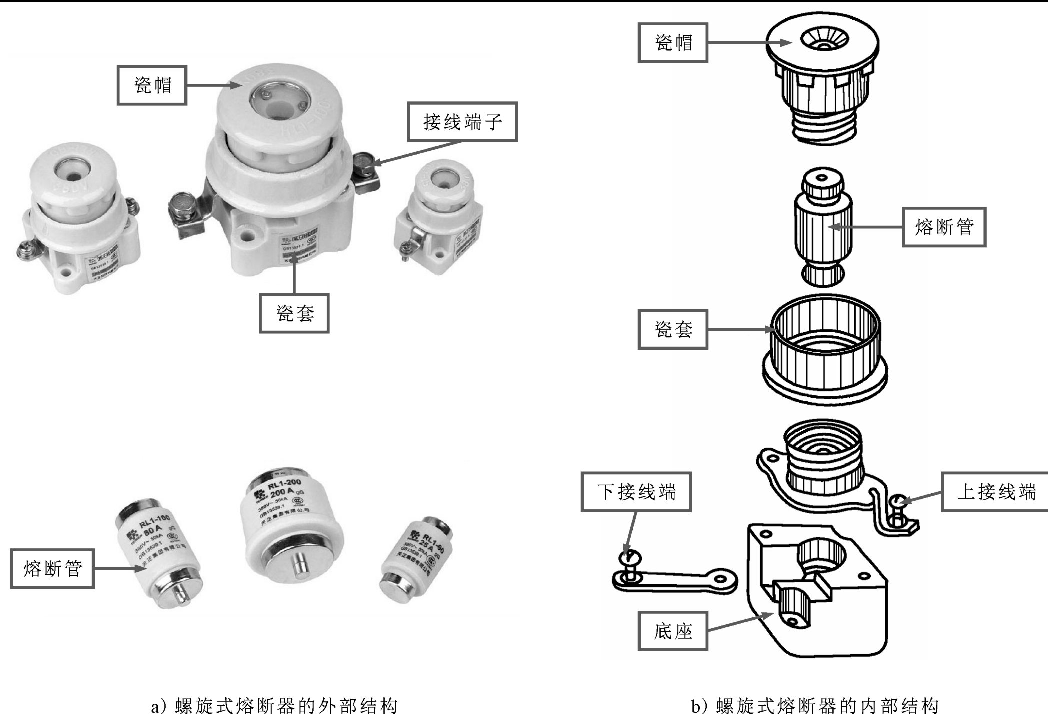


图 2-51　螺旋式熔断器的结构特点

3. 无填料封闭管式熔断器的功能

无填料封闭管式熔断器（RM 系列），其内部主要由熔体、夹座、黄铜套管、黄铜帽、插刀、钢纸管等构成，如图 2-52 所示。其中熔体装于熔断管内，当熔断器内有大电流通过时，熔体被熔断，这时钢纸管在熔体熔断所产生电弧的高温作用下，分解出大量气体增大管内压力，从而起到灭弧作用。

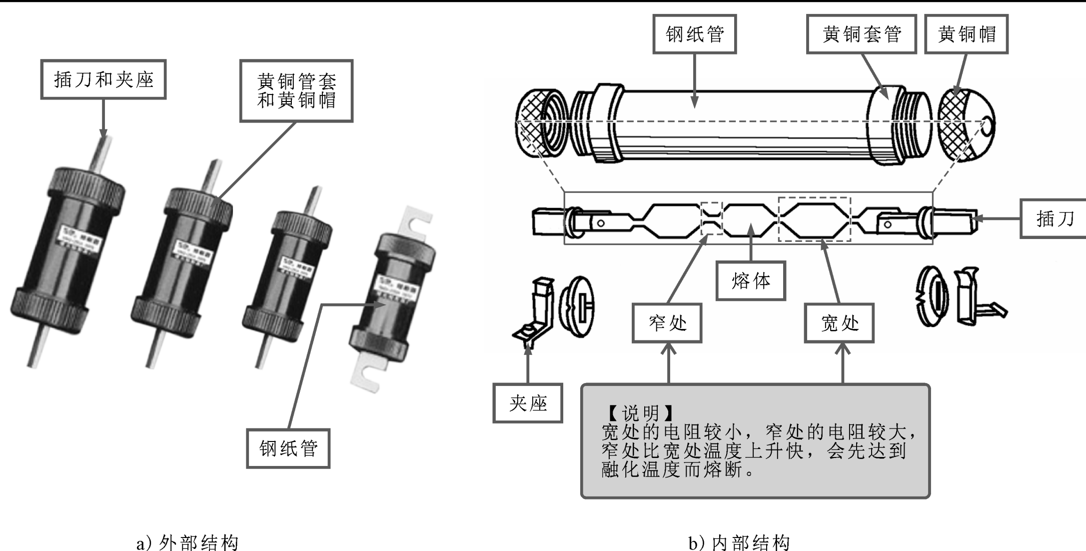


图 2-52　无填料封闭管式熔断器的结构特点



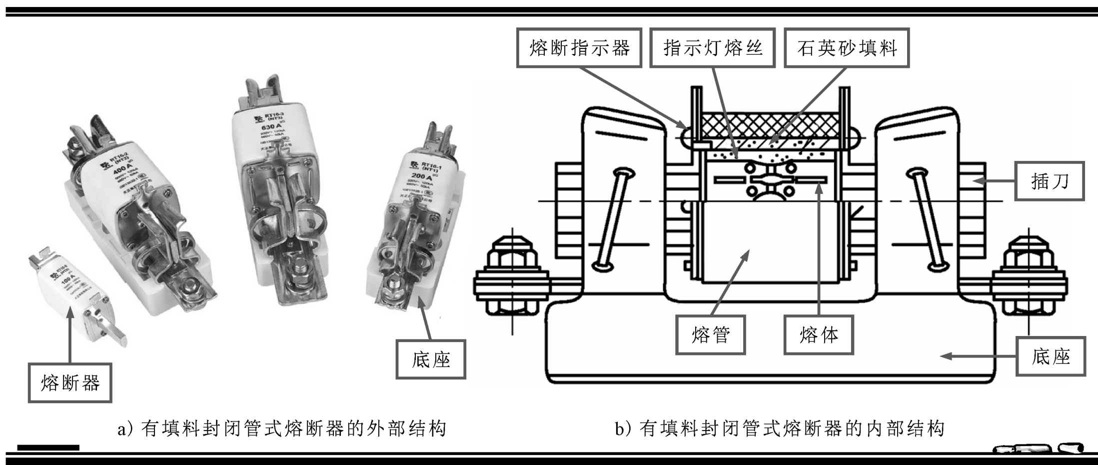


【资料】

无填料封闭管式熔断器的断流能力大、保护性好，因此常用于交流500V、直流400V、额定电流1000A以内的低压线路及成套配电设备中。

4. 有填料封闭管式熔断器的功能

有填料封闭管式熔断器（RT0系列）主要由熔断指示器、石英砂填料、指示灯熔丝、插刀等部分构成，如图2-53所示。其中熔管采用具有耐热性强、机械强度高的高频陶瓷制成。熔管内填有石英砂，在切断电流时起迅速灭弧的作用。



a）有填料封闭管式熔断器的外部结构　　b）有填料封闭管式熔断器的内部结构

图2-53　有填料封闭管式熔断器的结构特点



【资料】

有填料封闭管式熔断器（RT、RS、NT和NGT系列）的断流能力比无填料封闭管式熔断器大，主要应用于AC 380V、额定电流1000A以内的电力网络和成套配电装置中。

5. 快速熔断器的功能

快速熔断器是一种灵敏度高、快速动作型的熔断器（RS、RLS系列），主要由熔断器、触点底座、动作指示器和熔体组成，如图2-54所示。熔体为银质窄截面或网状形式，熔体为一次性使用，不能自行更换。该熔断器由于其具有快速动作性，一般作半导体整流元件保护用。

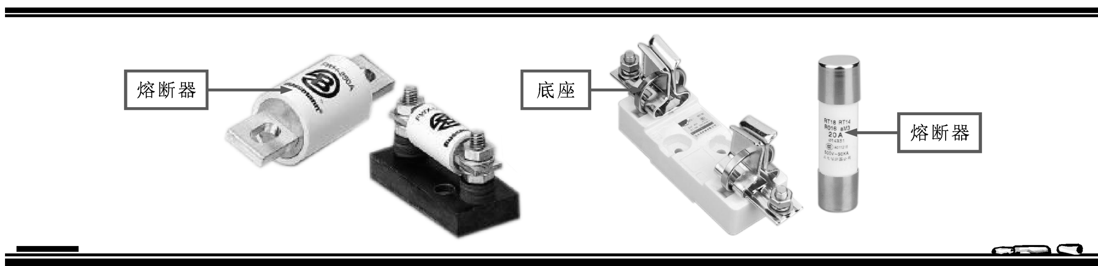


图2-54　快速熔断器的结构特点

6. 跌落式高压熔断器的功能

高压熔断器在电气安装线路中是一种结构简单、应用广泛的保护装置。一般由熔管、熔体、

灭弧填充物、指示器和静触座等构成。以跌落式高压熔断器为例，当高压电路中出现电流不正常的情况下，该熔断器会自动断开电路，以确保高压变配电设备的安全。图 2-55 所示为跌落式高压熔断器的结构特点。

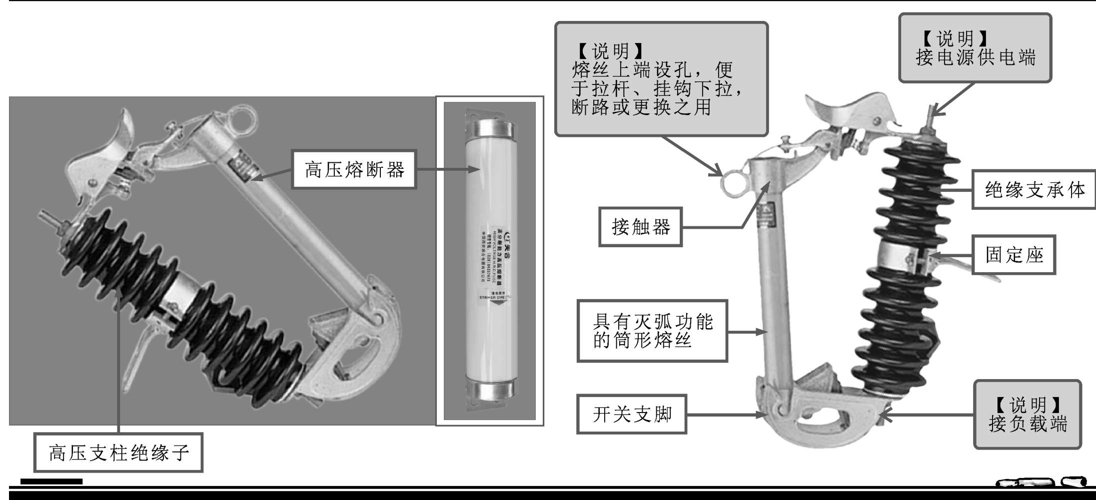


图 2-55　跌落式高压熔断器的结构特点



【资料】

熔断器在电路中的作用是检测电流通过的量，当电路中的电流超过熔断器规定值一段时间时，熔断器会以自身产生的热量使熔体熔化，从而使电路断开，起到保护电路的作用。图 2-56 为熔断器的工作原理示意图。从图 2-56 中可以看出，熔断器串联在被保护电路中，当电路出现过载或短路故障时，通过熔断器切断电路进行保护。例如，当灯泡之间由于某种原因而被导体连在一起时，电源被短路，电流由短路的捷径通过，不再流过灯泡，此时回路中仅有很小的内阻，使电路中的电流很大，流过熔断器的电流也很大，这时熔断器会自身熔断，切断电路，进行保护。

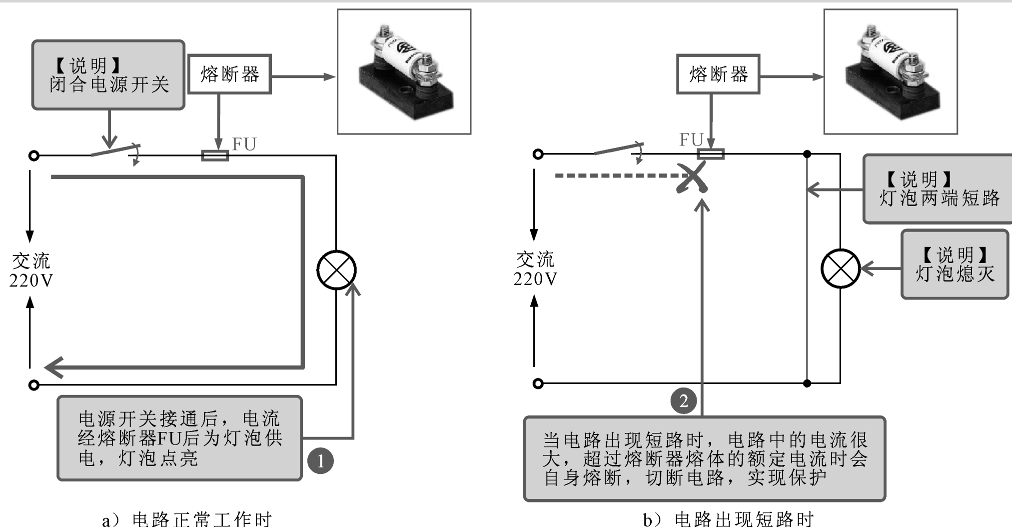


图 2-56　熔断器的工作原理示意图

2.5.2 断路器的功能



断路器是一种切断和接通负荷电路的器件，该器件具有过载自动断路保护的功能。根据其应用场合主要可分为低压断路器和高压断路器，图2-57所示为典型断路器的实物外形。

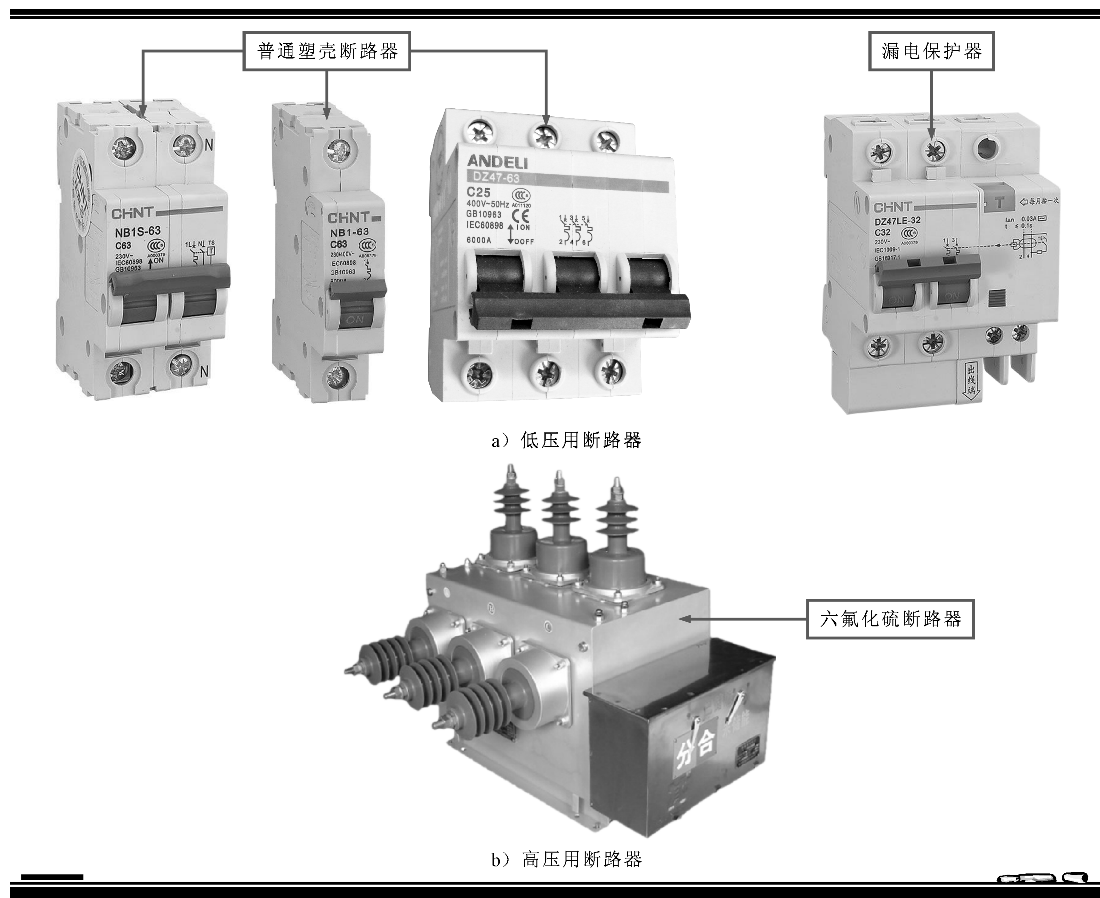


图2-57 典型断路器的实物外形

1. 低压断路器的功能

低压断路器又称空气开关，是一种既可以通过手动控制，也可自动控制的低压开关，主要用于接通或切断供电线路。这种开关具有过载、短路或欠电压保护的功能，常用于不频繁接通和切断的电路中。

（1）普通塑壳断路器的功能

普通塑壳断路器又称装置式断路器，目前，普通塑壳断路器的常见型号有DZ5、DZ10、DZ12、DZ20和TO、TG等系列，在选用时，应根据这些型号的额定电流、交流电压以及直流电压进行选择。图2-58所示为普通塑壳断路器的实物外形。

图2-59所示为典型塑壳式断路器的内部结构组成。拆开其塑料外壳可以看到，其主要是由塑料外壳、脱扣器装置、触头、接线端子、灭弧装置、操作手柄等部分构成的。

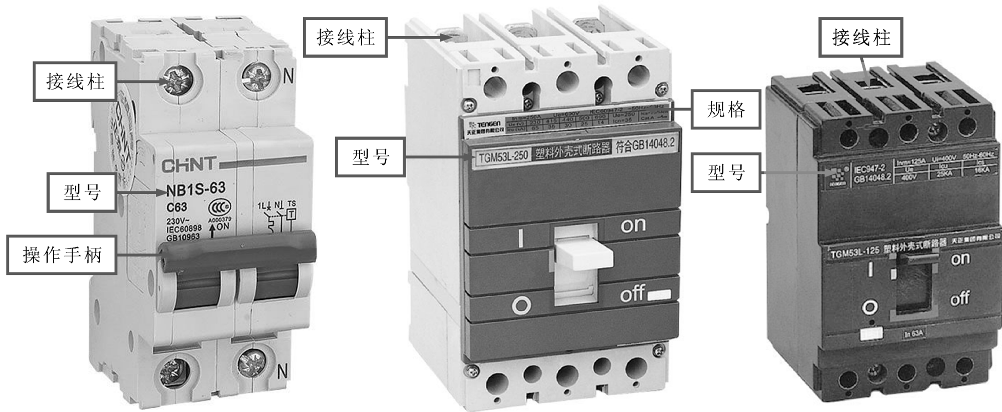


图 2-58　普通塑壳断路器的实物外形

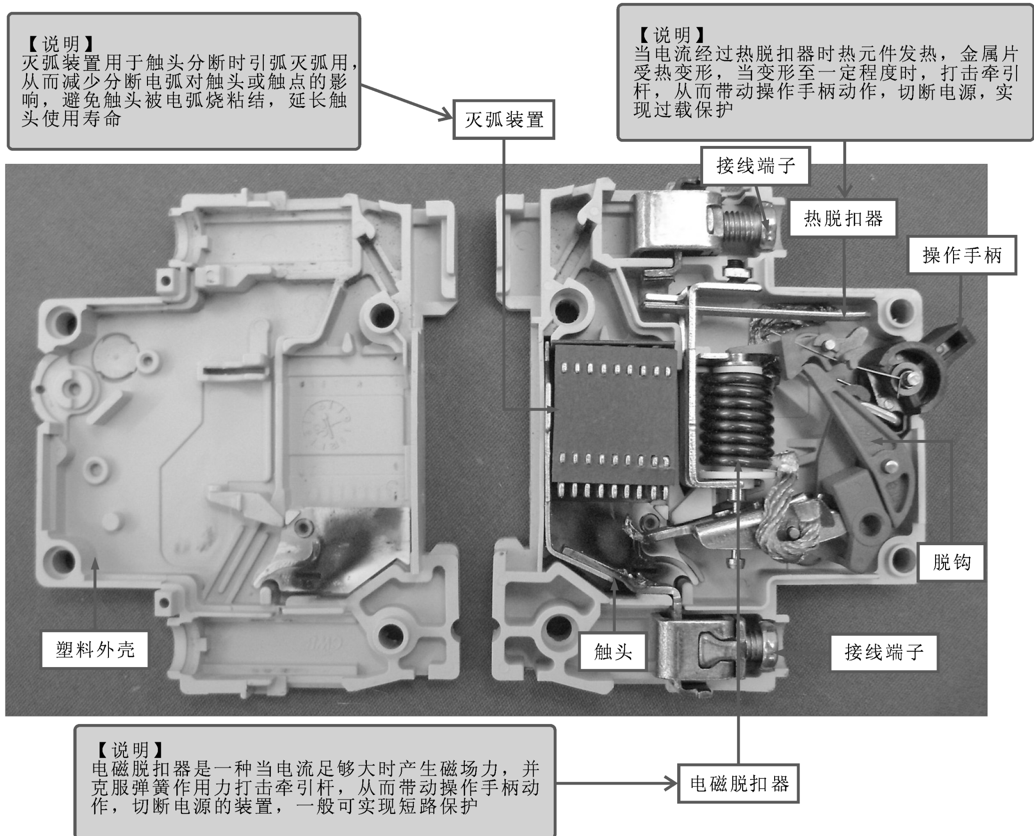


图 2-59　典型塑壳式断路器的内部结构组成





【资料】

图 2-60 所示为塑壳式低压断路器的工作原理示意图。当手动控制操作手柄使其位于“开”（“ON”）状态时，触头闭合，操作手柄带动脱钩动作，连杆部分则带动触头动作，触头闭合，电流经接线端子 A、触头、电磁脱扣器、热脱扣器后，由接线端子 B 输出。当手动控制操作手柄使其位于“关”（“OFF”）状态时，触头断开，操作手柄带动脱钩动作，连杆部分则带动触头动作，触头断开，电流被切断。

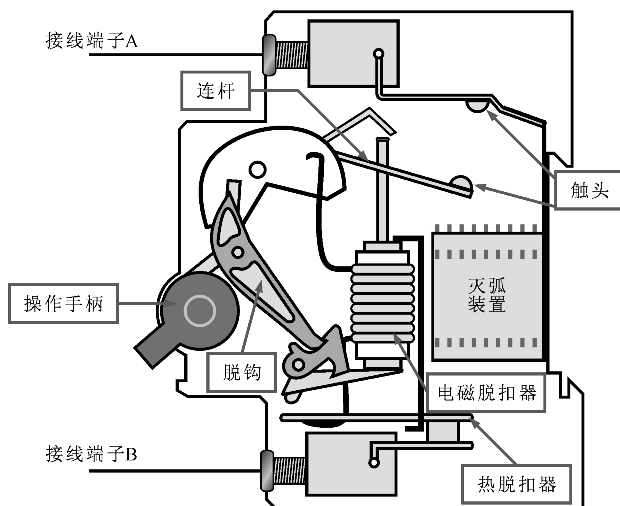


图 2-60　塑壳式低压断路器的工作原理示意图

（2）漏电保护器的功能

漏电保护器是一种具有漏电保护功能的断路器，是配电（照明）等线路中的基本组成部件，具有漏电、触电、过载、短路的保护功能，对防止触电伤亡事故的发生、避免因漏电而引起的火灾事故，具有明显的效果。图 2-61 所示为典型漏电保护器的实物外形。

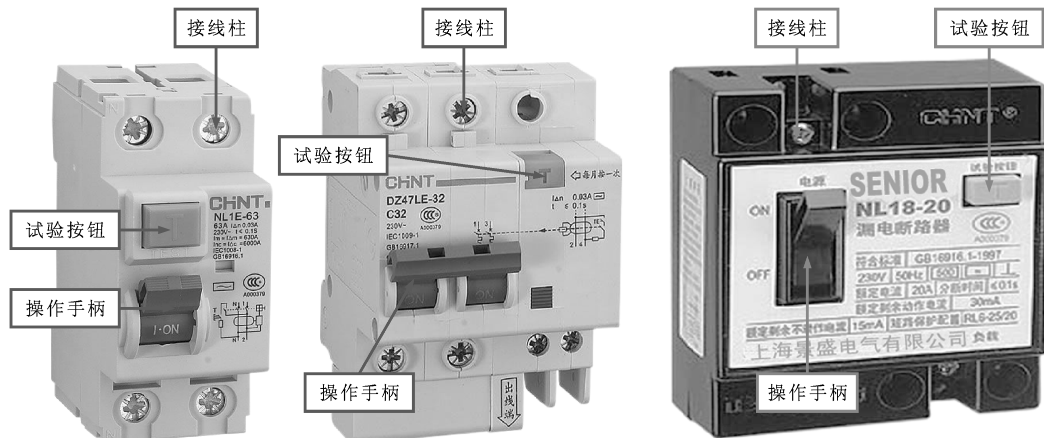


图 2-61　典型漏电保护器的实物外形

漏电保护器作为一种典型的断路器，其工作原理如图2-62所示。电路中的电源线穿过漏电保护器内的检测元件（环形铁心，又称零序电流互感器），环形铁心的输出端与漏电脱扣器相连接。

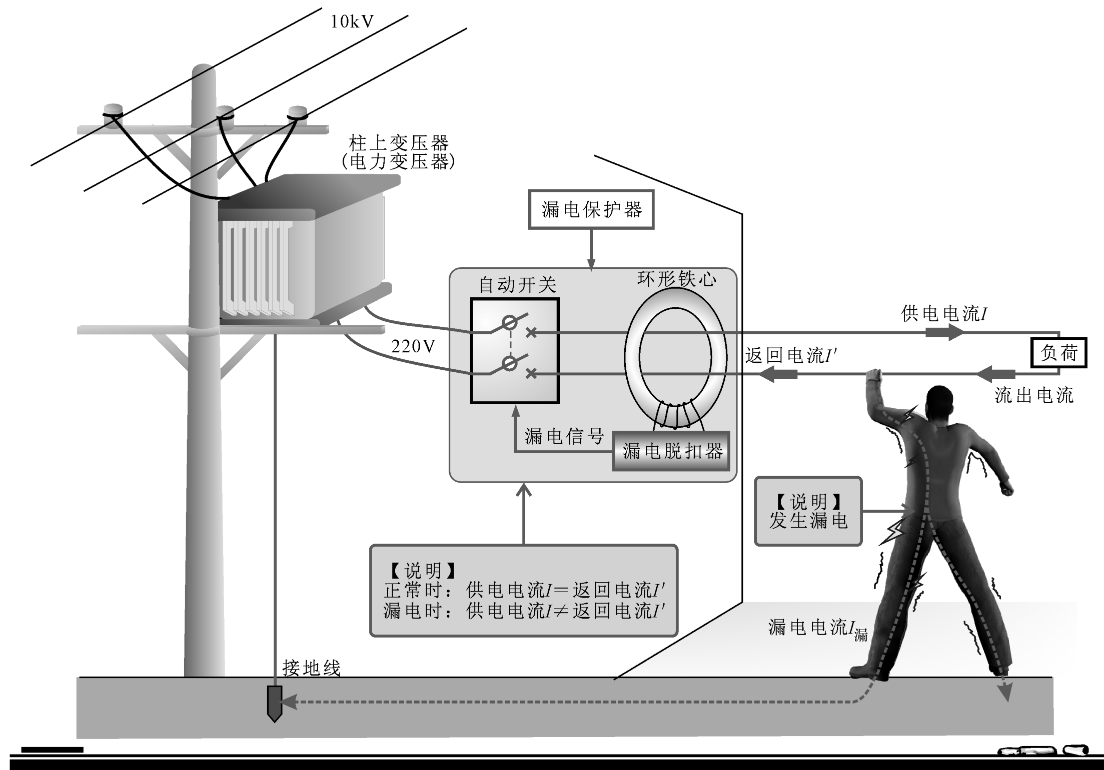


图2-62　漏电保护器的工作原理示意图

在被保护电路工作正常，没有发生漏电或触电的情况下，通过零序电流互感器的电流向量和等于零，这样漏电检测环形铁心的输出端无输出，漏电保护器不动作，系统保持正常供电。

当被保护电路发生漏电或有人触电时，由于漏电电流的存在，使供电电流大于返回电流，通过环形铁心的两路电流向量和不再等于零，在铁心中出现了交变磁通。在交变磁通的作用下，检测元件的输出端就有感应电流产生，当达到额定值时，脱扣器驱动断路器自动跳闸，切断故障电路，从而实现保护。

提问

在上述保护器中，漏电保护器与熔断器在保护动作上有什么不同？





回答

熔断器和断路器主要是切断线路的相间故障，保护动作电流是按线路上的正常工作最大负荷电流来确定的，电流较大；而漏电保护器是检测系统的漏电电流，正常运行时系数是平衡的，漏电电流几乎为零，在发生漏电和触电时，电路产生剩余电流，这个电流对断路器和熔断器来说，根本不足以使其动作，而漏电保护器则会可靠地动作。

2. 高压断路器的功能

高压断路器是高压输配电线路中最为重要的电气设备之一，具有可靠的灭弧装置。因此，不

仅能通断正常的负荷电流，而且能接通和承担一定时间的短路电流，并能在保护装置作用下自动跳闸，切除短路故障。常见的高压断路器有油断路器、六氟化硫（SF_6）断路器和真空断路器，如图 2-63 所示。

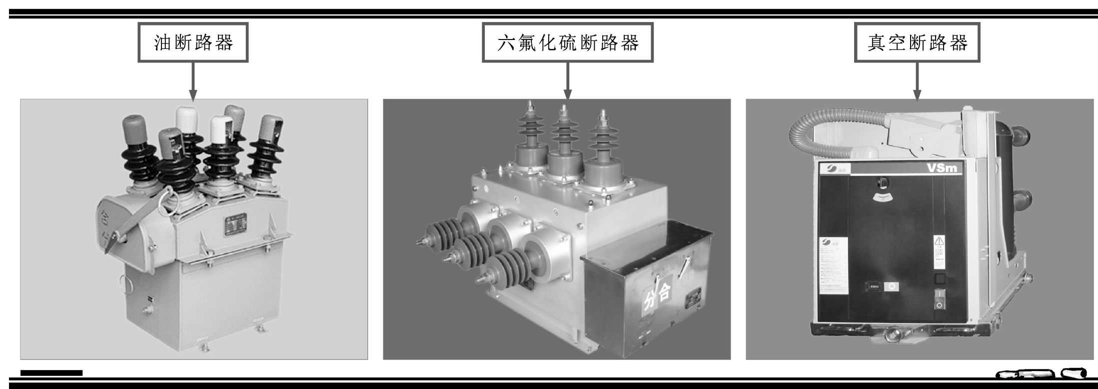


图 2-63　常见的高压断路器的实物外形

2.6　认识变压器



变压器是将两组或两组以上的线圈绕制在同一个线圈骨架上，或绕在同一铁心上制成的。通常把与电源相连的绕组称为一次线圈（一次绕组），其余的绕组称为二次线圈（二次绕组）。变压器的主要作用是用来提升或降低交流电压，变换阻抗等，是利用电磁感应原理传递电能或传输交流信号的一种器件，变压器还具有电气隔离的作用。

常见的变压器主要有电源变压器、中频变压器、音频变压器、脉冲变压器以及电力变压器等，如图 2-64 所示。

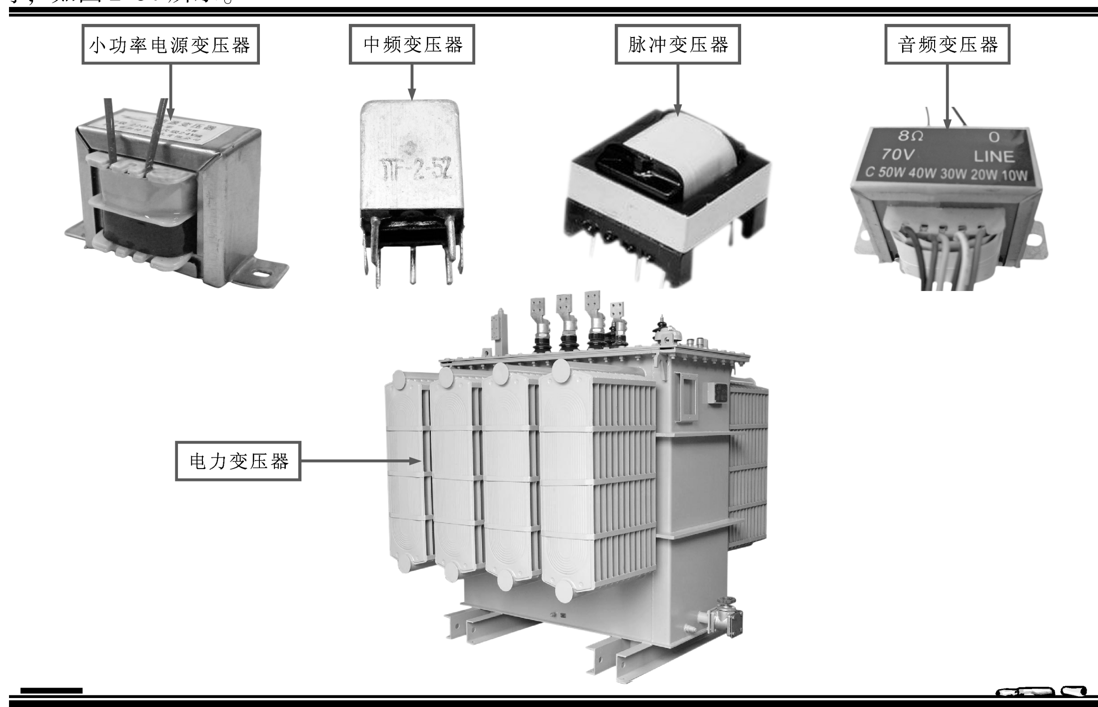
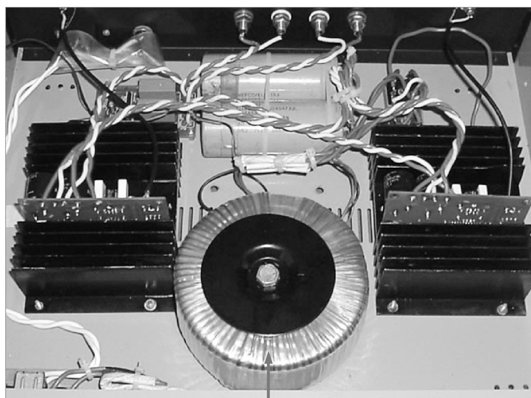


图 2-64　常见变压器的实物外形

2.6.1 电源变压器的功能



电源变压器的种类很多，主要是用来改变供电电压或电流的值，常见的变压器主要有环形铁心变压器和 E 形铁心变压器，主要是由铁心、线圈、线框、固定零件和屏蔽层等构成的，如图 2-65 所示。



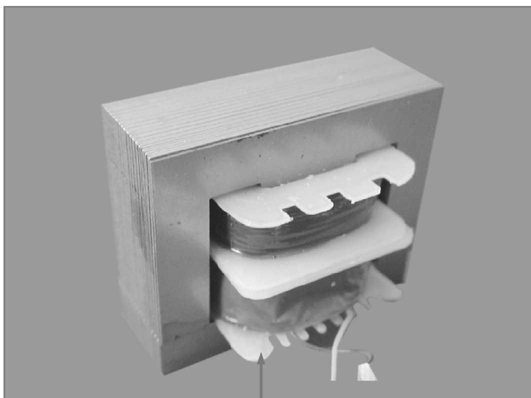


图 2-65 电源变压器的实物外形



【资料】

电源变压器具有接缝小、漏磁小、效率高、占用的空间小等特点，多用于电子设备中。

2.6.2 中频变压器的功能



在电视机、收音机内，中频变压器是用来传输中频信号的变压器，它除了利用电磁感应原理外还应用了并联谐振原理。不仅具有普通变压器变换电压、电流及阻抗的特性，它还具有谐振于某一特定频率的特性。

中频变压器的内部结构，一般采用工帽形或螺纹调杆结构，并用金属外壳作为屏蔽罩，在磁帽顶端涂有色漆，以区别于外形相同的高频变压器和振荡线圈，如图 2-66 所示。



【资料】

中频变压器通常用于收音机中，起到选频和耦合作用，决定了收音机的灵敏度、选择性和通频带等指标。

2.6.3 音频变压器的功能



音频变压器是传输音频信号的变压器，该变压器又可以分为输入变压器和输出变压器。它们分别接在功率放大器的输入级和输出级。音频变压器工作在音频范围内，主要用来耦合音频信号，进行阻抗的匹配。图 2-67 所示为音频输入和音频输出变压器的实物外形。



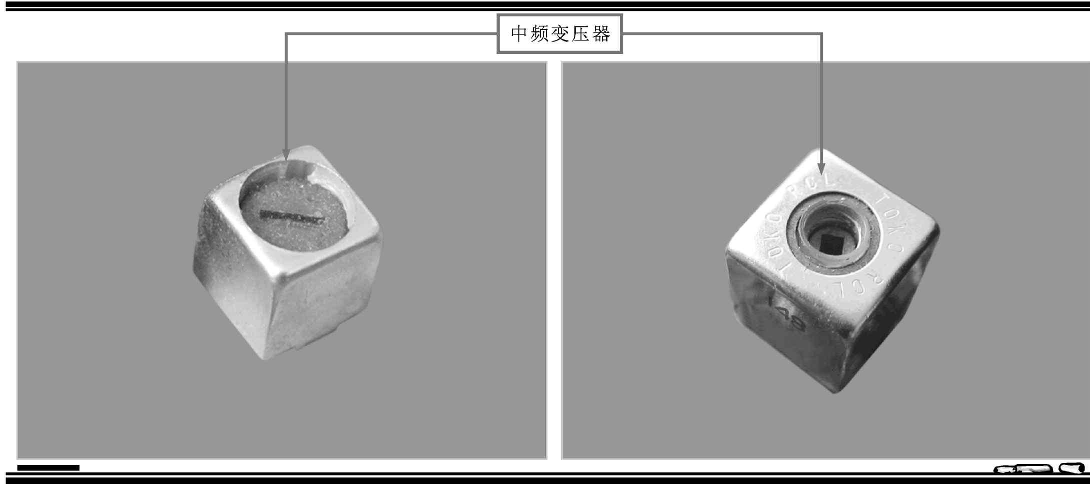


图 2-66　中频变压器的实物外形

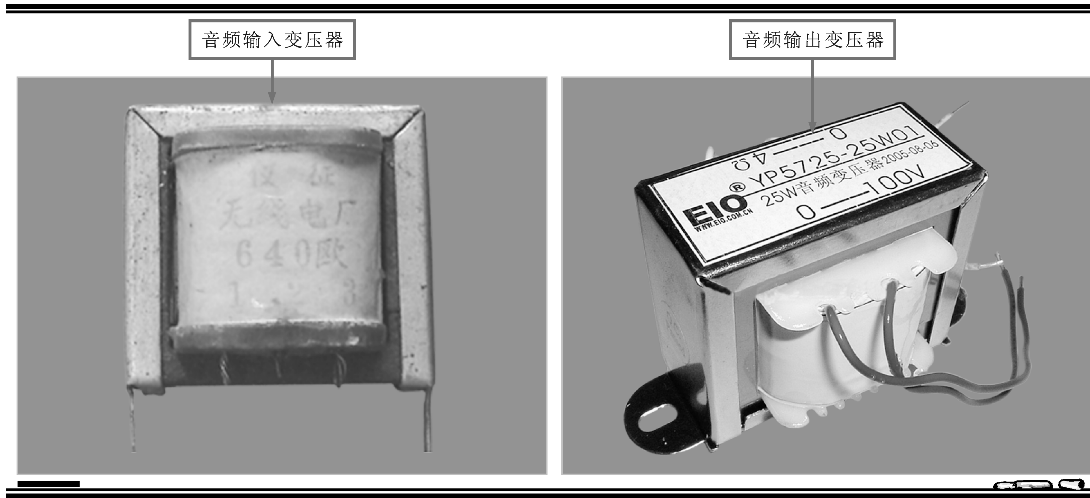


图 2-67　音频输入和音频输出变压器的实物外形



【资料】

音频变压器通常应用在一些纯功率放大的电路中，例如高保真的音响放大器，则采用了高品质的音频变压器。

2.6.4　脉冲变压器的功能



脉冲变压器在电子产品中的应用十分广泛，常见的脉冲变压器主要有行激励变压器、行输出变压器以及开关变压器等，如图 2-68 所示。



【资料】

行激励变压器的外形比较小巧，脉冲信号经过该变压器输出的电压幅度降低，输出的电流增加，用于驱动行输出晶体管。行输出变压器又称行回扫变压器，它受

行逆程脉冲（回扫脉冲）的驱动，能输出几万伏的高压和几千伏的副高压，故又称高压变压器，常用于电视机和电脑显示器中。开关变压器是一种脉冲变压器，应用于开关电源中，其工作频率为 1～50kHz、体积较小，磁心使用铁氧体，主要的功能是将高压脉冲变成多组低压脉冲。



图 2-68　脉冲变压器的实物外形

2. 6. 5　电力变压器的功能



电力变压器是供配电系统中实现电能输送、电压变换，满足不同电压等级负荷要求的核心器件。它可将发电站发出的电压升为高压，以减少在电力传输过程中的损失，便于长途输送电力，也可将高压电降低，变为所需的低压电压，供用户使用。根据电力变压器相数的不同，可以将电力变压器分为单相电力变压器和三相电力变压器两种。

1. 单相电力变压器的功能

单相电力变压器是一种一次绕组为单绕组的变压器，如图 2-69 所示，单相电力变压器的一次绕组和二次绕组均缠绕在铁心上，一次绕组为交流电压输入端，二次绕组为交流电压输出端。二次绕组的输出电压与线圈的匝数成正比。

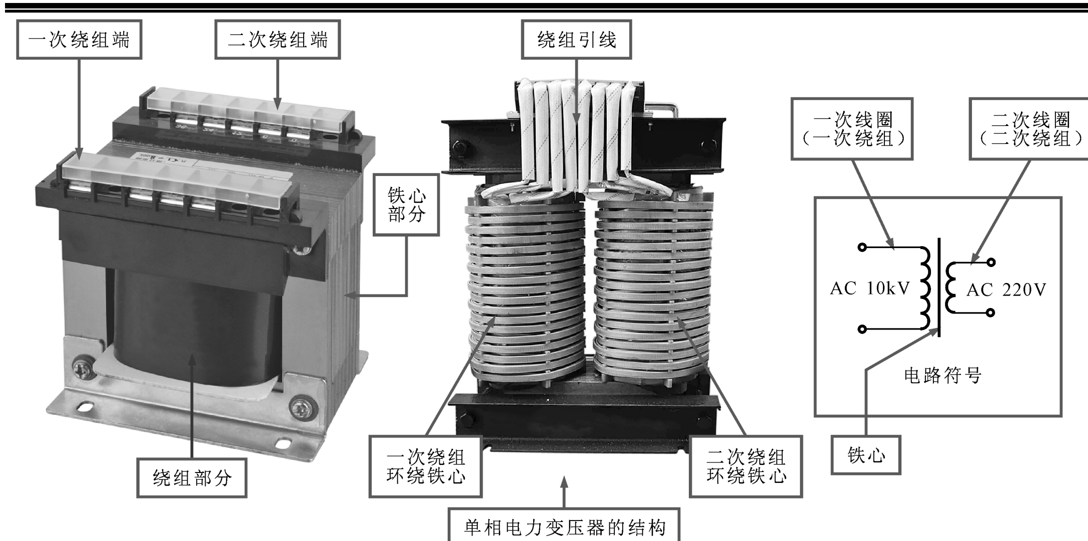


图 2-69　单相电力变压器的结构特点

单相电力变压器可将高压供电变成单相低压，供各种设备使用。例如可将交流6600V高压经单相变压器变为交流220V低压，为照明灯或其他设备供电使用，如图2-70所示。单相变压器有结构简单、体积小、损耗低等优点，适宜在负荷较小的低压配电线路中使用。

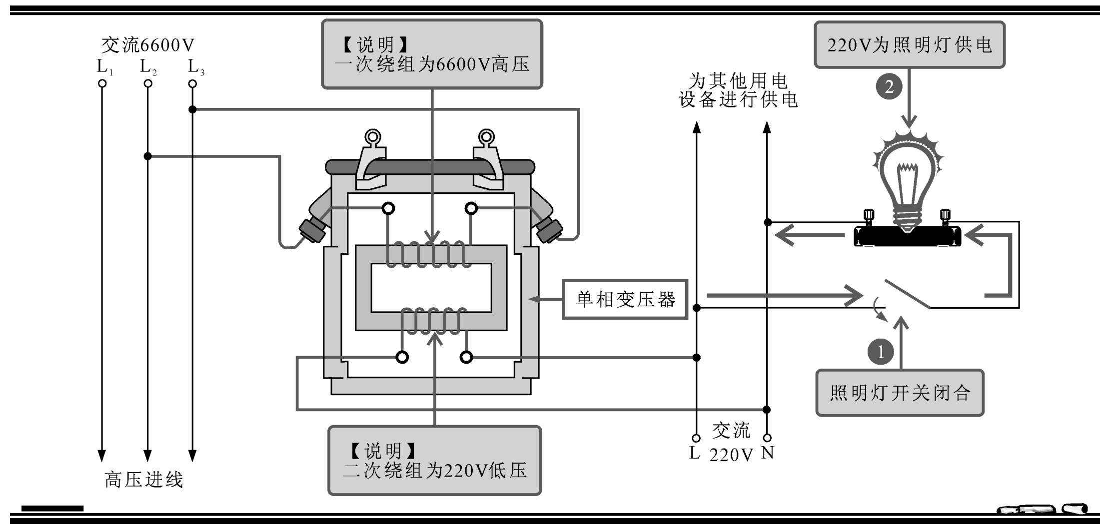


图2-70　单相电力变压器的功能示意图



【资料】

单相电力变压器多用于农村输配电系统，以及一些照明或小型电动机的供电中，其应用实例如图2-71所示。



图2-71　单相变压器的应用实例

2. 三相电力变压器的功能

三相电力变压器是电力设备中应用比较多的一种变压器。三相变压器实际上是由三个相同容量的单相变压器组合而成的，一次绕组（高压线圈）为三相，二次绕组（低压线圈）也为三相，如图2-72所示。三相电力变压器和单相电力变压器的内部结构基本相同，均是由铁心（器身）和绕组两部分组成。



图 2-72　三相电力变压器的结构特点

三相电力变压器主要用于三相供电系统中的升压或降压，比较常用的就是将几千伏的高压变为 380 V 的低压，为用电设备提供动力电源，如图 2-73 所示。

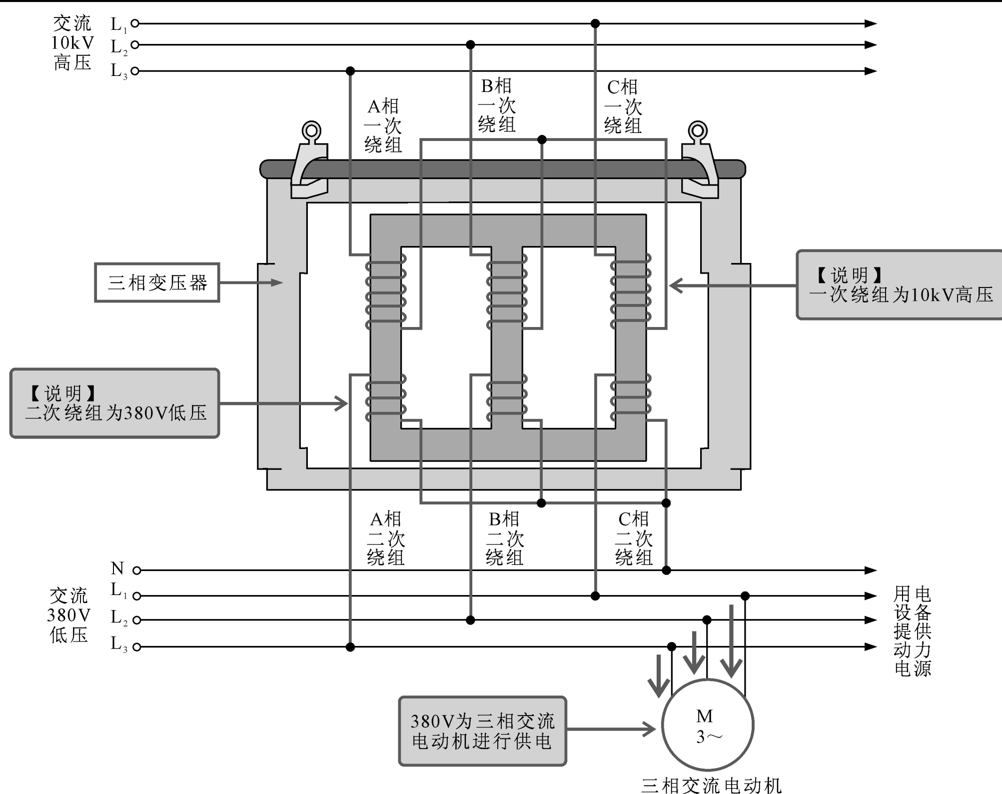


图 2-73　三相电力变压器的功能示意图





【资料】

三相电力变压器的应用范围比较广泛，例如变电站、电梯、工矿企业、建筑工地、排灌设备、邮电、纺织、铁路、学校、医院、国防等，同时也适用于一些电源电压低、波动较大的低压配电线路中，其应用实例如图2-74所示。

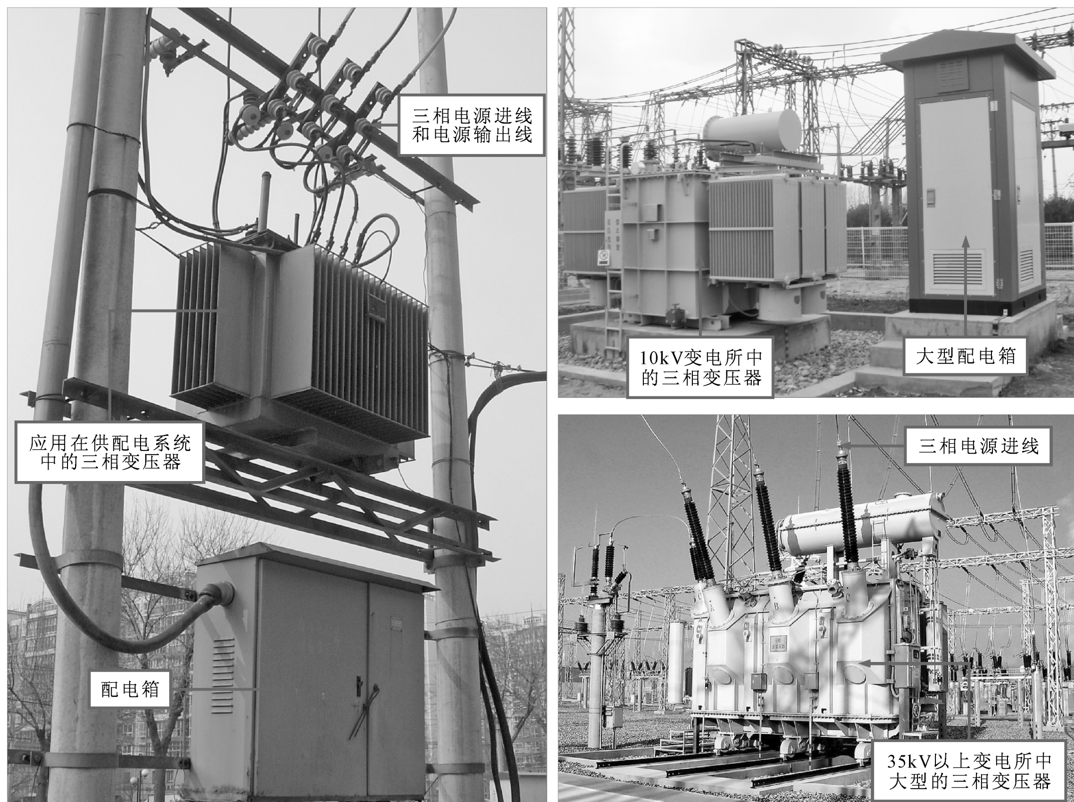


图2-74　三相变压器的应用实例

第3章

需要搞清楚的电动机



现在我们开始第3章的学习，在本章中，我们要认识一下电动机。电动机是常见的电气部件（设备），在电工、电子行业中有着广泛的应用。为了能够让大家全面、深入地了解电动机，我们将电动机按供电方式的不同分为直流电动机、单相交流电动机和三相交流电动机，通过对这三种典型电动机的结构、应用及工作过程进行了解，使电工人员知道什么是电动机，不同电动机是如何工作的。

3.1　什么是直流电动机





通常所有由直流电源（具有正负极之分）供电的电动机都称为直流电动机。多数电子产品中的电动机都是直流电动机。直流电动机按照定子磁场的不同，可以分为永磁式直流电动机和电磁式直流电动机，如图3-1所示。

直流电动机主要是由静止的定子和旋转的转子两个部分构成的。图3-2所示为典型无刷直流电动机的内部结构。

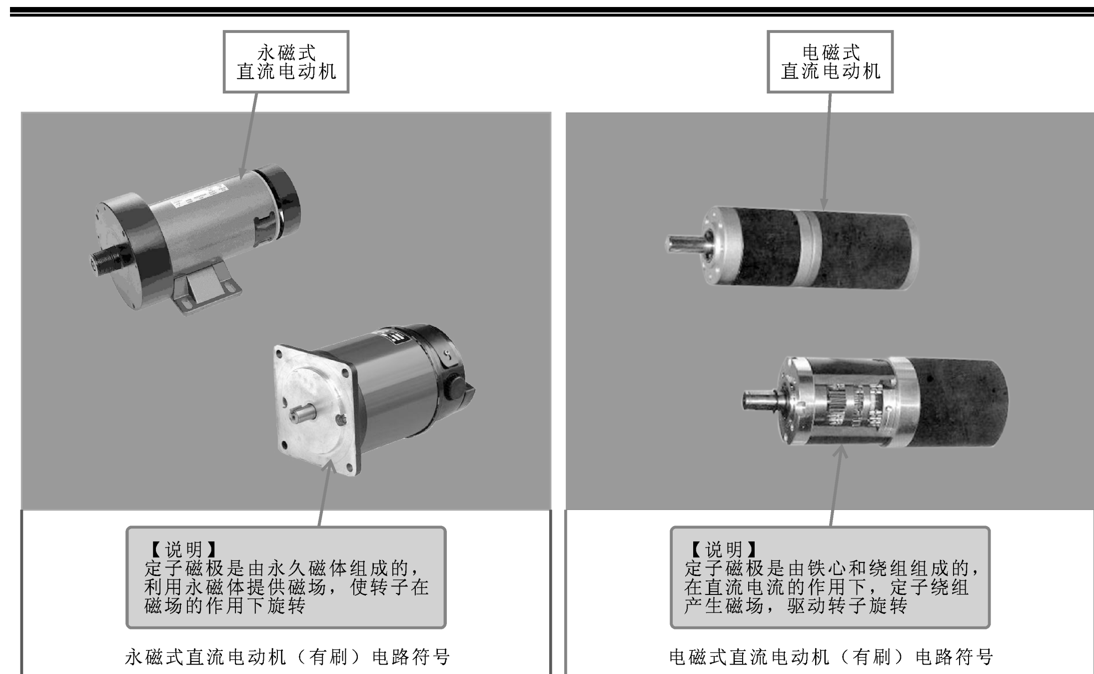


图3-1　常见的几种直流电动机

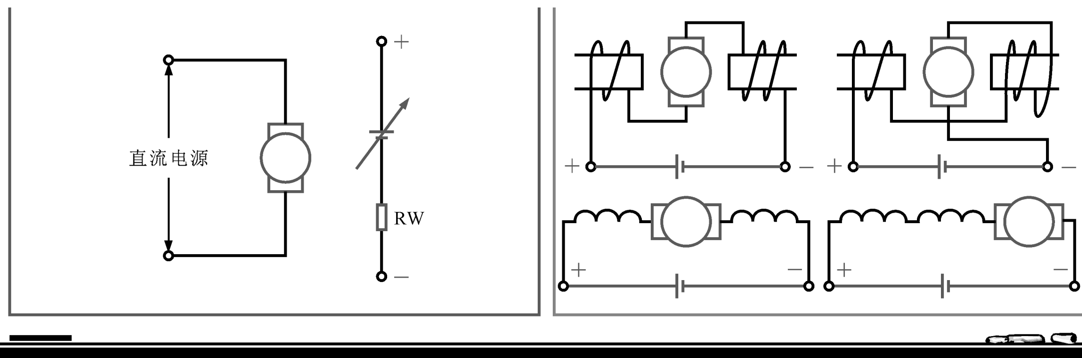


图 3-1　常见的几种直流电动机（续）

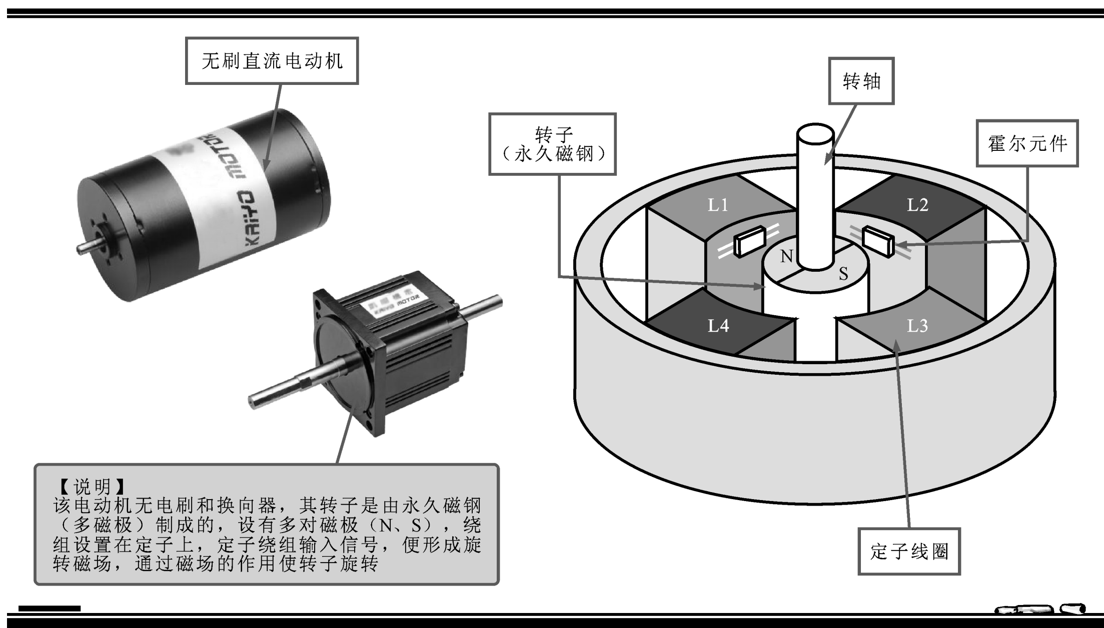


图 3-2　典型无刷直流电动机的内部结构

有刷电动机具有电刷和换向器，定子是永磁体，绕组绕在转子铁心上。有刷电动机工作时，绕组和换向器旋转，直流电源通过电刷为转子上的绕组供电。图 3-3 所示为典型有刷直流电动机的内部结构与剖面示意图。其中定子部分包含了主磁极、衔铁、端盖和电刷等；转子部分包含了转子铁心、转子绕组、转轴、换向器、轴承等。

3. 1. 1　直流电动机有什么用



直流电动机的主要功能就是实现电能向机械能的转换，即将直流供电电源的电能转换为电动机转子转动的机械能，产生转矩带动负载转动。图 3-4 所示为直流电动机基本功能示意图。

直流电动机通常用在便携式电子电器产品中或是在没有交流电源的环境中，例如在家用电子电器产品、小型电动工具、交通运输设备中，而一些对起动和调速有较高要求的工农业设备中也采用到直流电动机，如图 3-5 所示。这类设备中多采用直流电动机作为动力驱动部件，例如工业

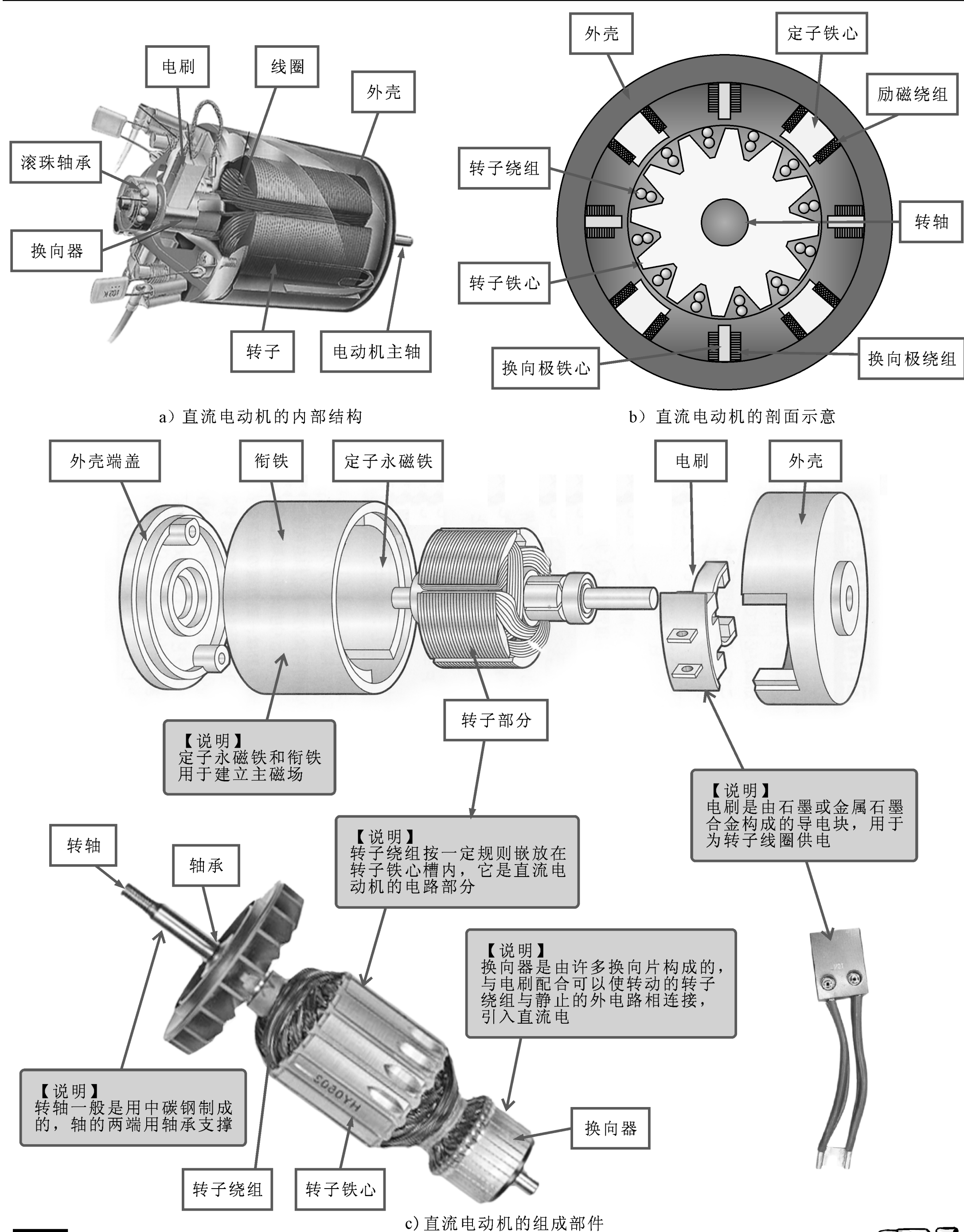


图 3-3　典型有刷直流电动机的内部结构与剖面示意图

专用加工设备、精密数控机床、工业机器人、大型可逆式轧钢机、矿井卷扬机、塑料机械、造纸和印刷机械、绕线机、纺织机械、传送带、电磁泵、大型起重机等。



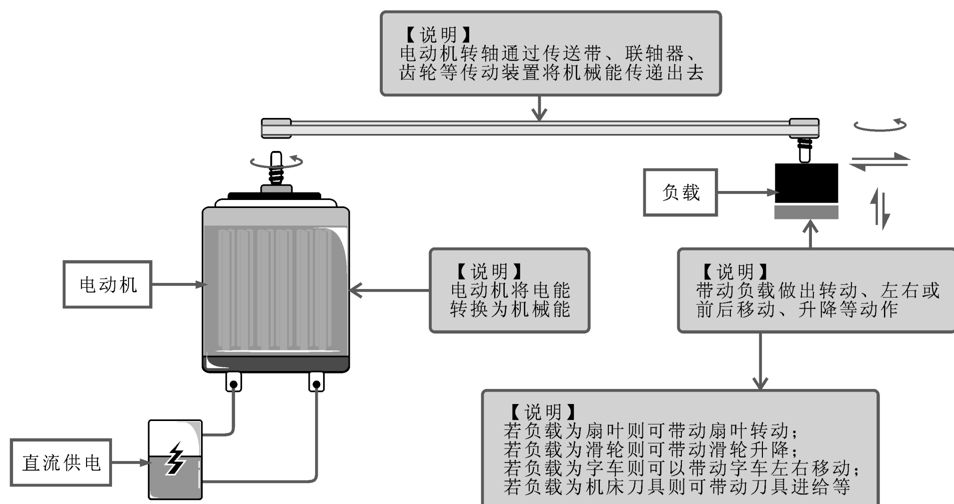


图 3-4　电动机基本功能示意图

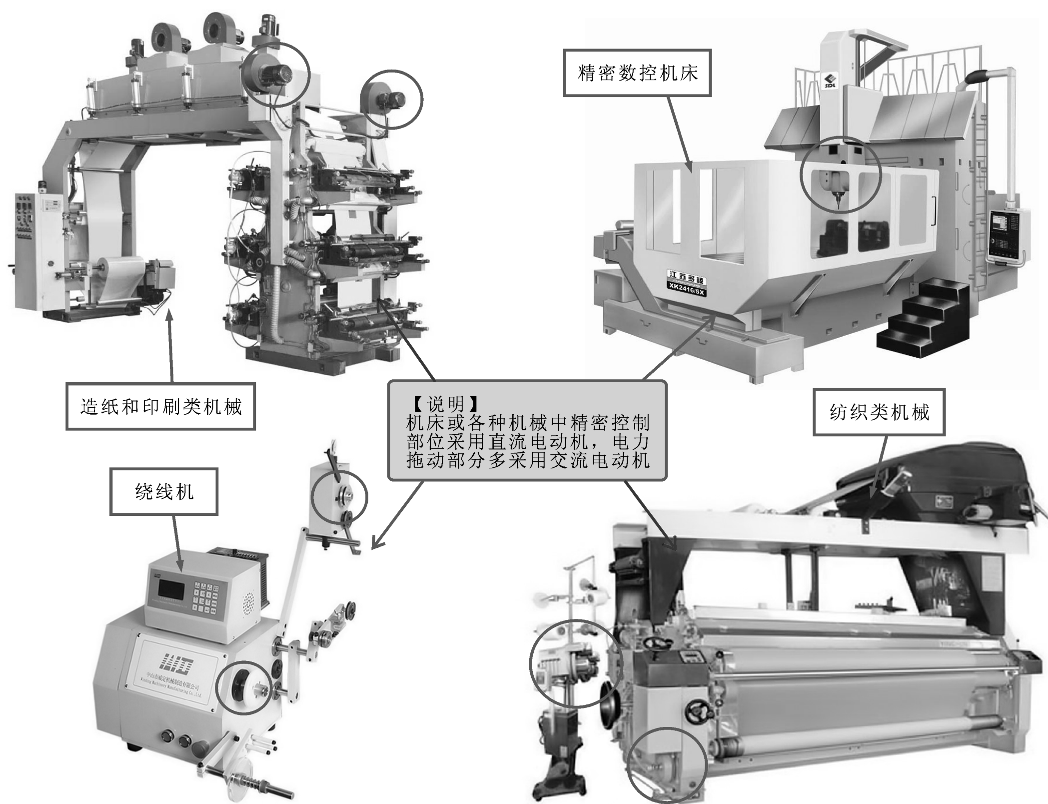


图 3-5　直流电动机在一些工农业设备中的应用

3.1.2 直流电动机怎么工作



我们已对直流电动机的结构及应用有所了解。接下来我们将对直流电动机的工作原理进行介绍，让学习人员搞清直流电动机是怎么工作的，它是如何将电能转换为机械能的。

直流电动机工作时，转子铁心、转子线圈和换向器旋转，主磁极（定子永磁铁及衔铁）及电刷不旋转，直流电源经电刷加到转子线圈上。图 3-6 为直流电动机的工作原理结构图。

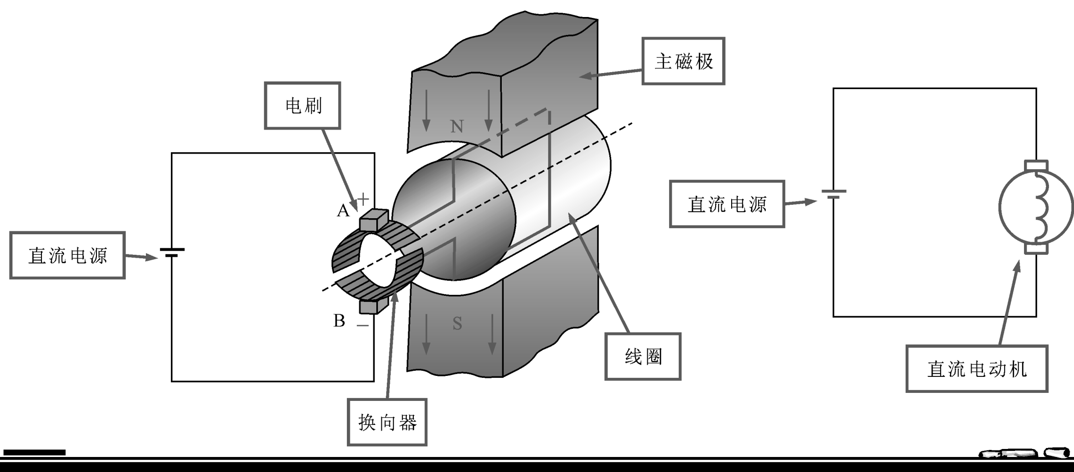


图 3-6　直流电动机的工作原理结构图

当直流电动机接通直流电源时，直流电源的正、负极通过电刷与电动机的转子线圈接通。图 3-7 所示为直流电动机接通电源一瞬间的工作状态。直流电源的正、负两极通过电刷 A 和 B 与直流电动机的转子线圈接通，直流电流经电刷 A、换向器 1、线圈 ab、换向器 2、电刷 B 返回到电源的负极。

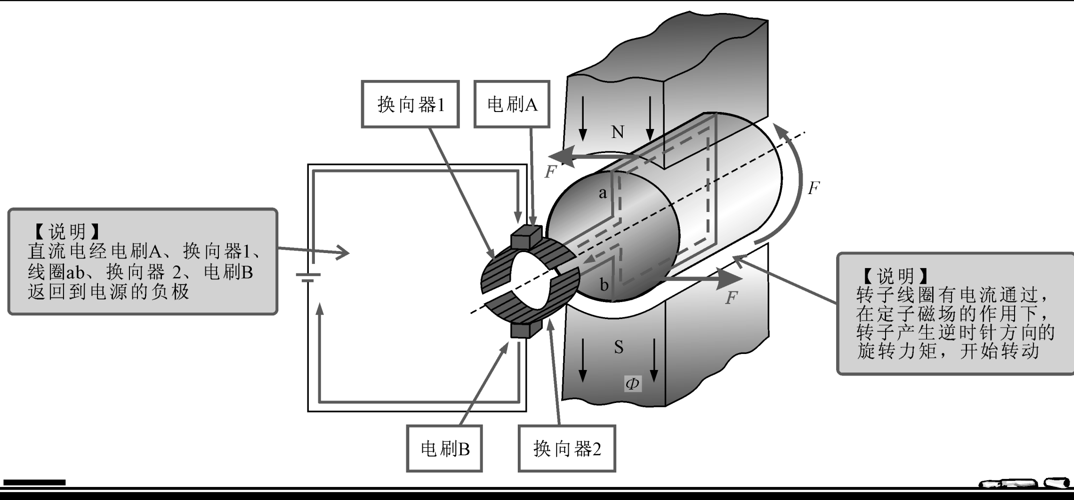


图 3-7　直流电动机接通电源一瞬间的工作状态

图 3-8 所示为直流电动机转子转过 90°后的工作状态。当转子转过 90°时，两个线圈边处于磁场物理中性面，且电刷不与换向片接触，线圈中没有电流流过，$F=0$，转矩消失。但由于惯



性的作用，转子会继续逆时针旋转，并转过90°继续运转。

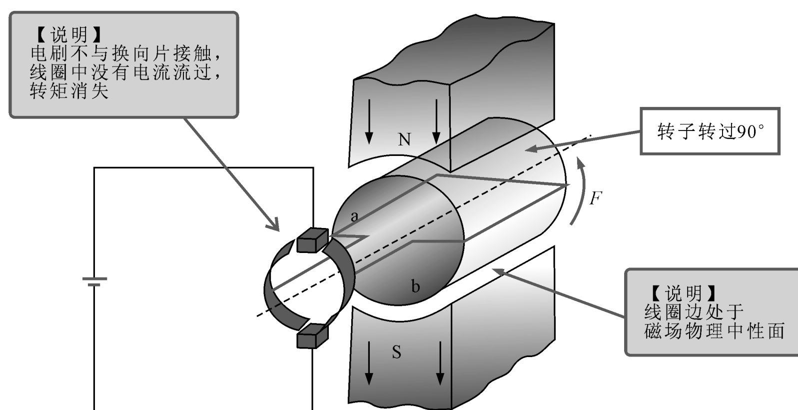


图3-8　直流电动机转子转到90°时的工作状态

图3-9所示为直流电动机转子经180°后的工作状态。此时换向器也随之旋转，但电刷位置不变，线圈中电流方向发生了变化。电流经电刷A、换向器2，线圈ba、换向器1、电刷B返回到电源的负极。

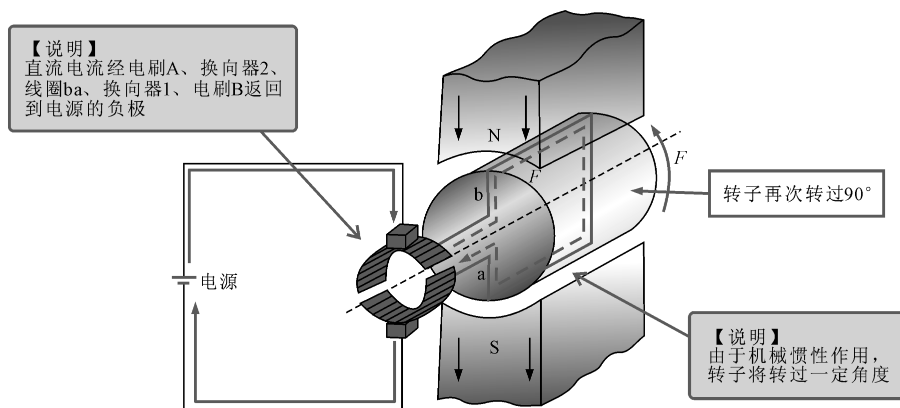


图3-9　直流电动机转子旋转180°后的工作状态



【注意】

由此可见，一个绕组从一个磁极范围经过中性面到了相对的异性磁极范围时，通过绕组的电流方向已改变一次，因此转子的转动方向保持不变。改变绕组中的电流方向是靠换向器的电刷来完成的。

提问

无刷直流电动机内部没有电刷和换向器，那么它的结构与工作过程与有刷直流电动机有什么区别呢？





无刷直流电动机转子是由永久磁钢制成的，绕组设置在定子上，由定子产生磁场驱使转子旋转。而定子绕组必须根据转子磁极的方位切换其中电流的方向，才能使转子连续旋转，因此定子上才会设置霍尔传感器，来检测转子磁极的位置，以便借助于该位置信号控制定子绕组中的电流方向和相位。图 3-10 所示为无刷直流电动机的结构。

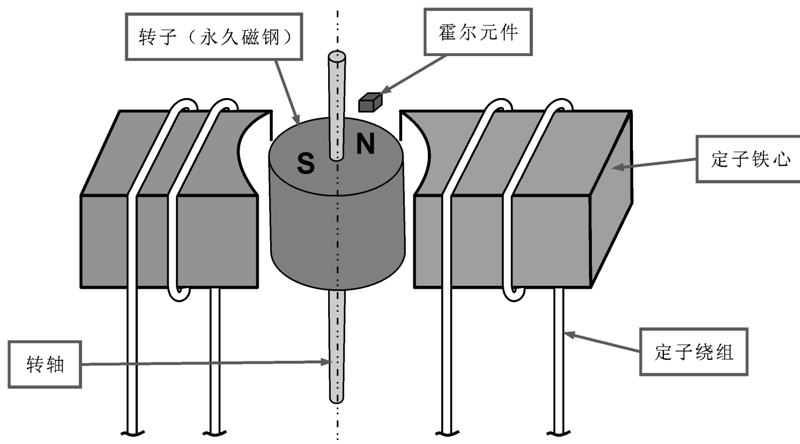


图 3-10　无刷直流电动机的结构

回答

3.2　什么是单相交流电动机



单相交流电动机是利用单相交流电源供电的电动机，其供电电压一般为交流 220V。单相交流电动机根据转动速率与电源频率关系，可分为单相异步和单相同步电动机，其中比较常见的是单相异步电动机。图 3-11 所示为典型的单相交流电动机外形。

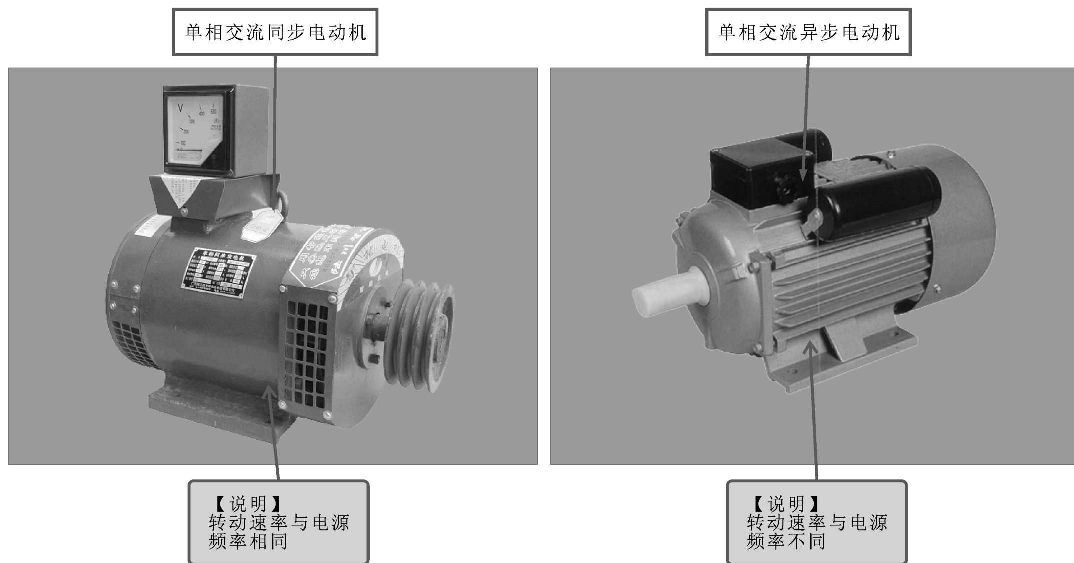


图 3-11　典型的单相交流电动机外形

单相交流异步电动机的结构和直流电动机基本相同，都是由静止的定子、旋转的转子、端盖以及外壳等部分构成的。图 3-12 所示为典型单相交流异步电动机的结构。

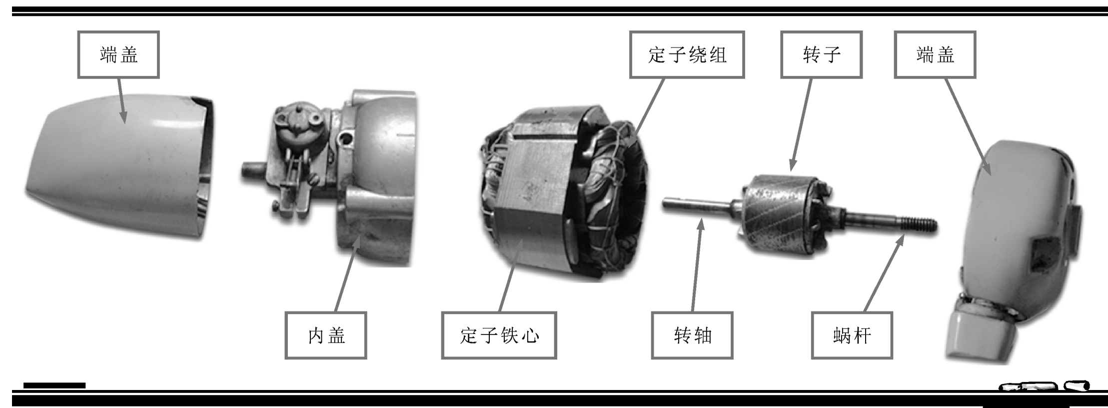


图 3-12 典型单相交流异步电动机的结构

单相交流异步电动机的转子指电动机工作时发生转动的部分。目前，主要有整流子型转子和笼型转子两种结构。

整流子型转子是将绕组绕在转子铁心上，绕组的引线分别接到整流子的导体上（多个铜片安装在轴的绝缘套上），安装在定子上的电刷通过与整流子导体接触为转子线圈供电。图 3-13 所示为典型整流子型转子的结构。

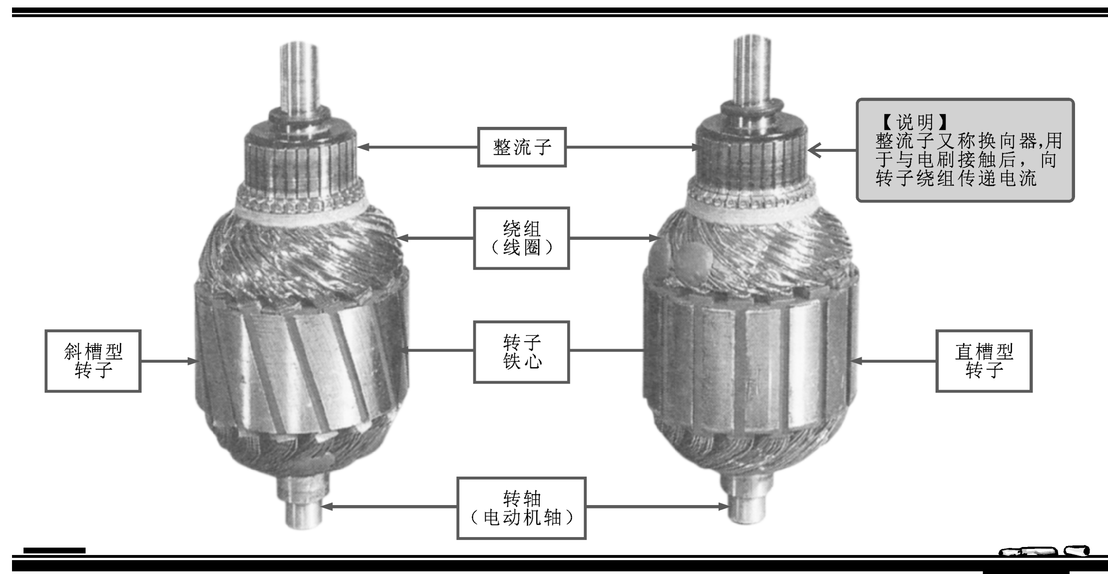


图 3-13 典型整流子型转子的结构

单相交流异步电动机大都是将交流电源加到定子绕组上，由于所加的交流电源是交变的，因而它会产生变化的磁场。转子上设有多个导体，导体受到磁场的作用就会产生电流，并会受到磁场的作用力而旋转，这种情况转子的导体常制成鼠笼状，如图 3-14 所示。

单相交流异步电动机的定子部分主要是由定子铁心、定子绕组和引出线等部分构成的。其中引出线用于接通单相交流电，为定子绕组供电，而定子铁心除支撑绕组外，主要功能是增强绕组所产生的电磁场。

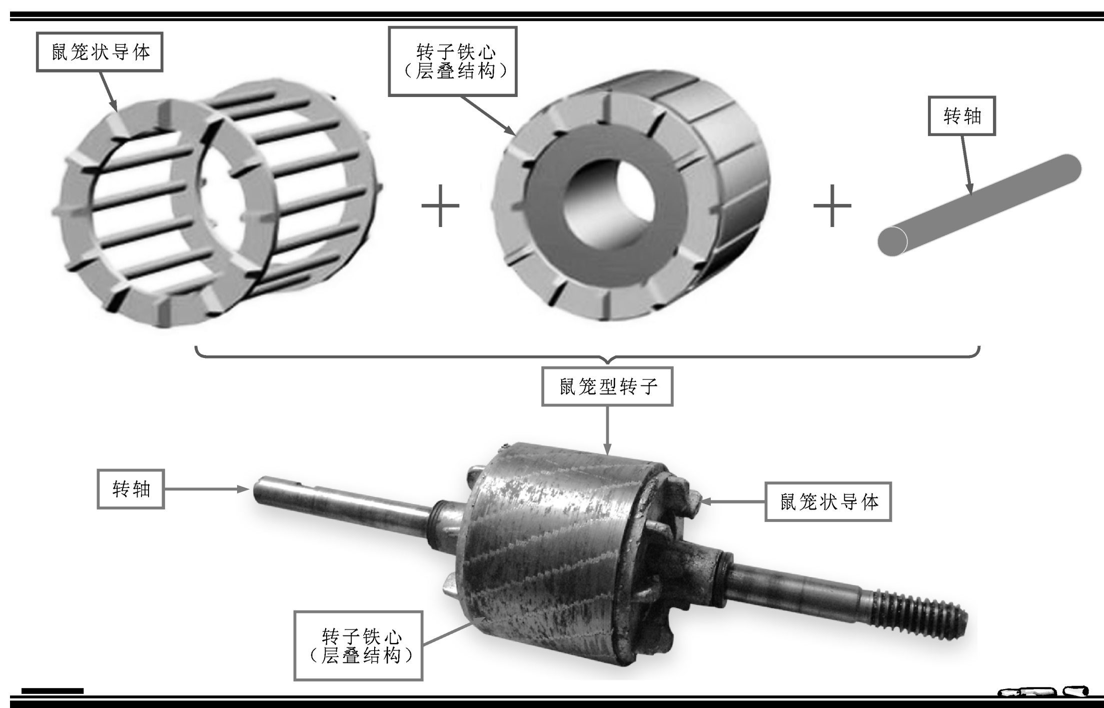


图 3-14　典型鼠笼型转子的结构

图 3-15 所示为典型单相交流异步电动机定子部分的结构。

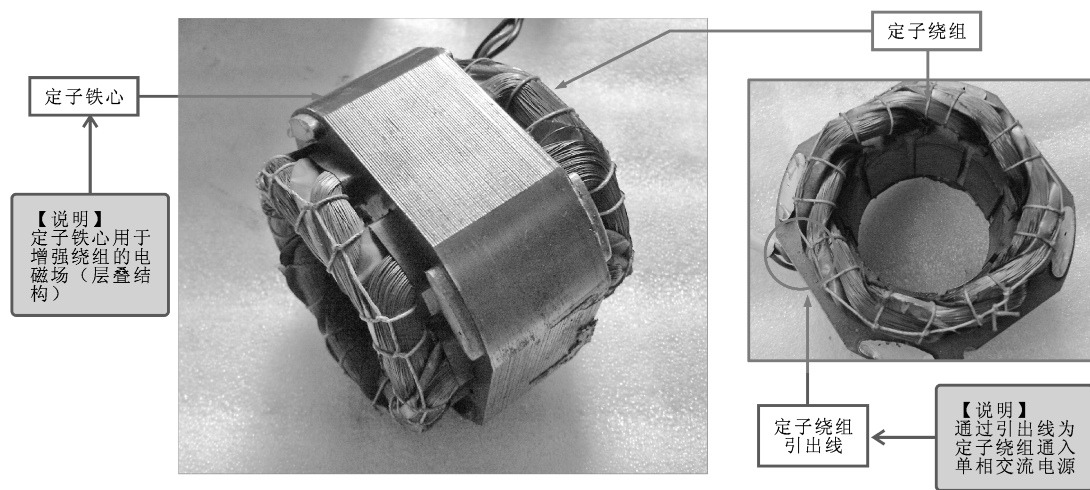


图 3-15　典型单相交流异步电动机定子部分的结构

单相交流异步电动机的定子结构有隐极式和凸极式两种形式。

隐极式定子是由定子铁心和定子绕组构成的。其中定子铁心是用硅钢片叠压成的，在铁心槽内放置两套绕组，一套是主绕组也称为运行绕组或工作绕组，另一套为副绕组，也称为辅助绕组或起动绕组，如图 3-16 所示。两个绕组在空间上相隔 90°，一般情况下，单相交流异步电动机的主、副绕组的匝数、线径是不同的。

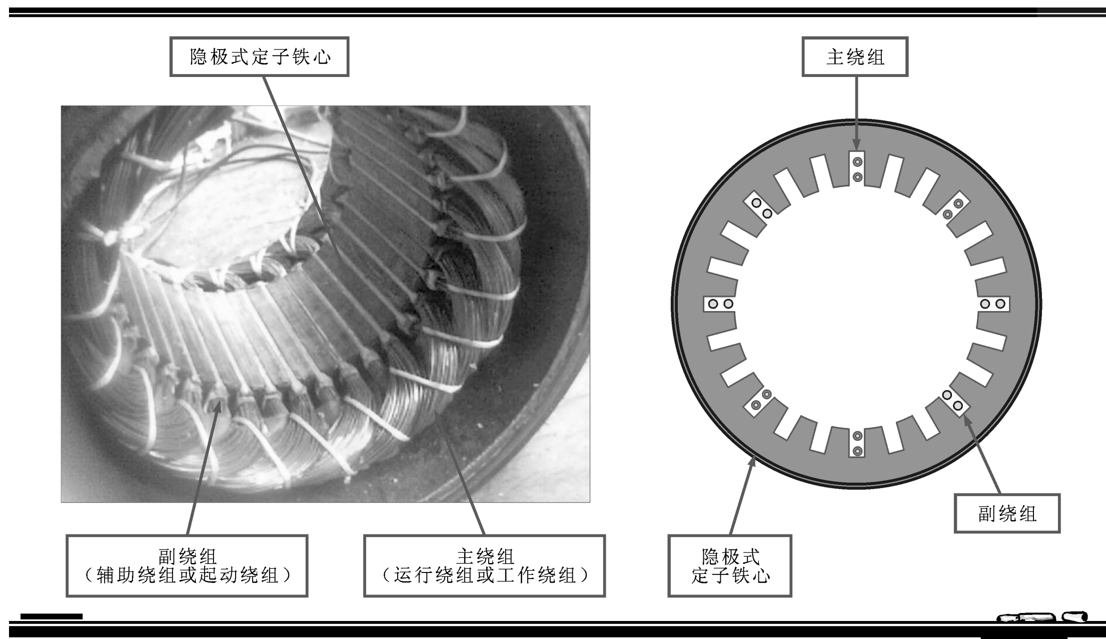


图3-16 典型单相交流异步电动机隐极式定子的结构

凸极式定子的铁心由硅钢片叠压制成凸极形状固定在机座内。在铁心的约1/3～1/4处开一个小槽，在槽和短边一侧套装一个短路铜环，将这部分磁极罩起来，称为罩极。定子绕组绕成集中绕组的形式套在铁心上。图3-17所示为典型单相交流异步电动机凸极式定子的结构。

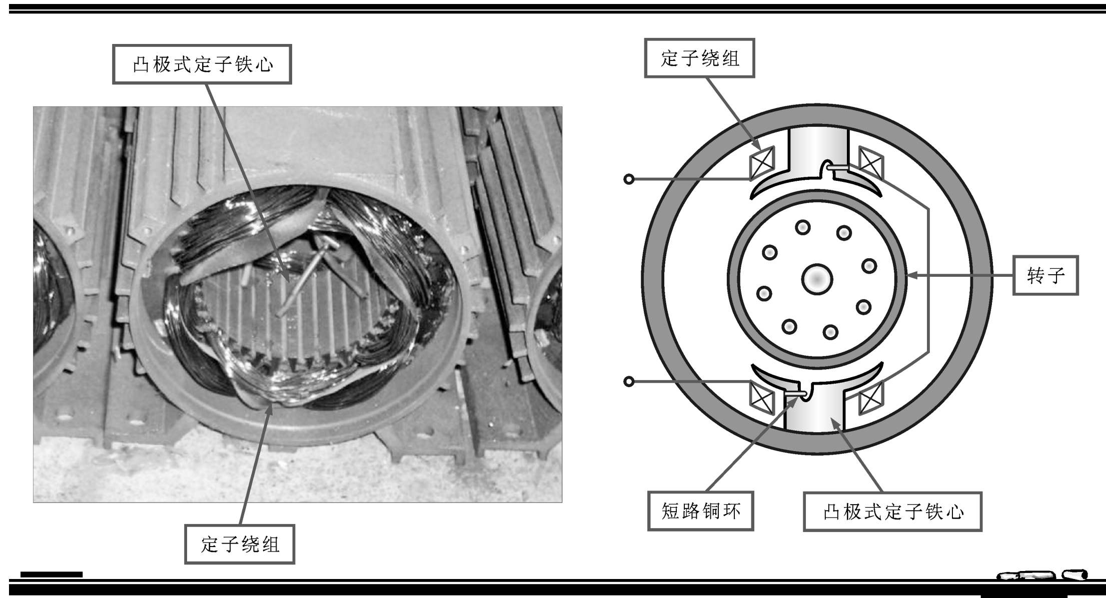


图3-17 典型单相交流异步电动机凸极式定子的结构

3.2.1 单相交流电动机有什么用

单相交流电动机采用单相交流电源供电，在家用电器产品、医用器械、自动化仪表以及部分工农业生产设备有广泛的应用，尤其是家庭电器产品或农业生产设备中的应用更加

普遍。

图 3-18 所示为单相交流电动机的基本应用。单相电源为单相交流电动机供电，电动机将电能转换成机械能，通过齿轮、传送带等拖动负载工作。

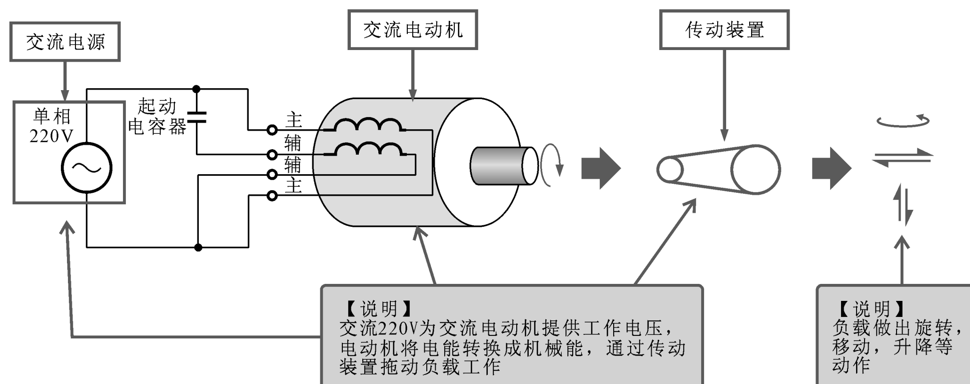


图 3-18　单相交流电动机的基本应用

在工农业生产或家庭生活中，各类机械设备都需要动力源来完成相应的工作，而交流电动机就是这些设备的动力提供者。在常见的机械设备中都可找到相应的单相交流电动机，如图 3-19 所示。

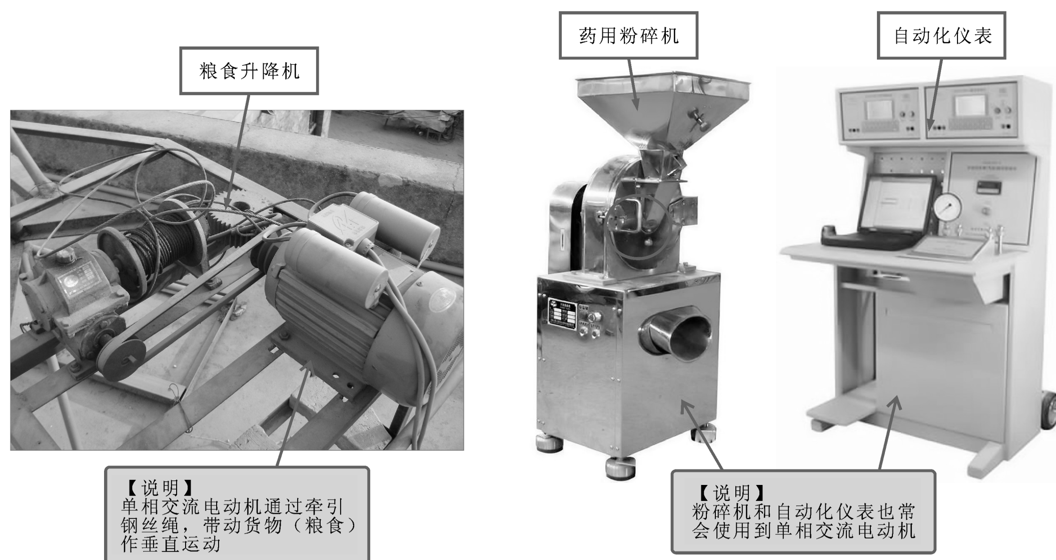


图 3-19　单相交流电动机在机械设备中的应用

3.2.2　单相交流电动机怎么工作



我们已对单相交流电动机的结构、应用有所了解，而一台电动机最重要的特点就是能在通电的状态下转动，即实现电能到机械能的转换。直流电动机的工作过程我们都已了

解，那么单相交流电动机是如何实现这一转换过程的呢？

1. 单相交流异步电动机的转动原理

将闭环的线圈（绕组）置于磁场中，交变的电流加到定子绕组中，它所形成的磁场是变化的，相当于定子磁场是旋转的，闭环的线圈受到磁场的作用会产生电流，如图 3-20 所示。

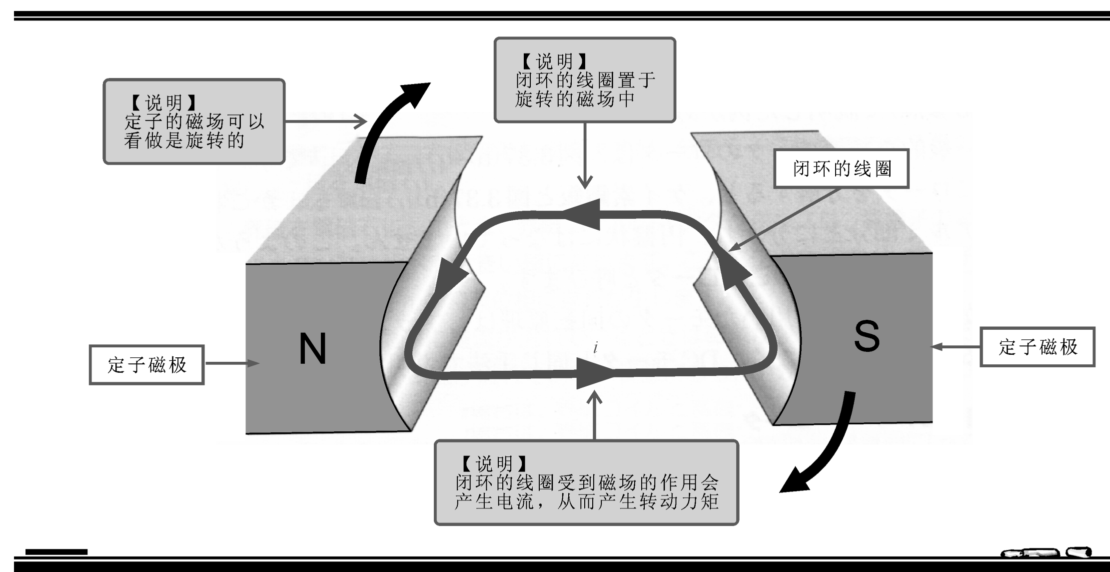


图 3-20　单相交流异步电动机转子绕组中电流的产生

将多个闭环的线圈（转子绕组）置于磁场中，并安装到转子铁心中，就形成图 3-21 所示的状态，当定子磁场旋转时，转子绕组受到磁场力也会随之旋转，这就是单相交流异步电动机的转动原理。

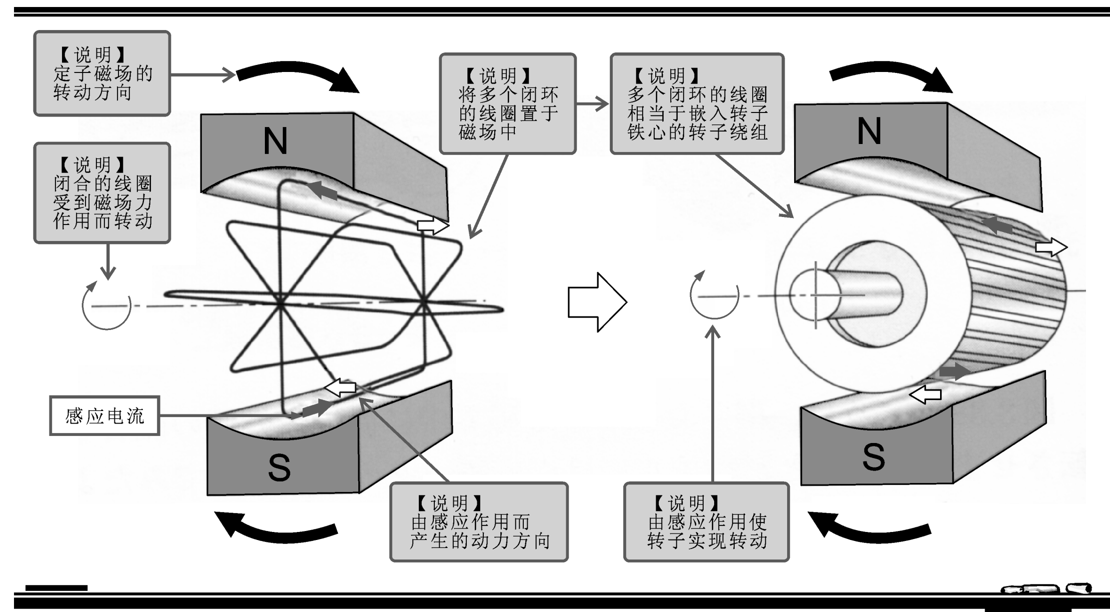
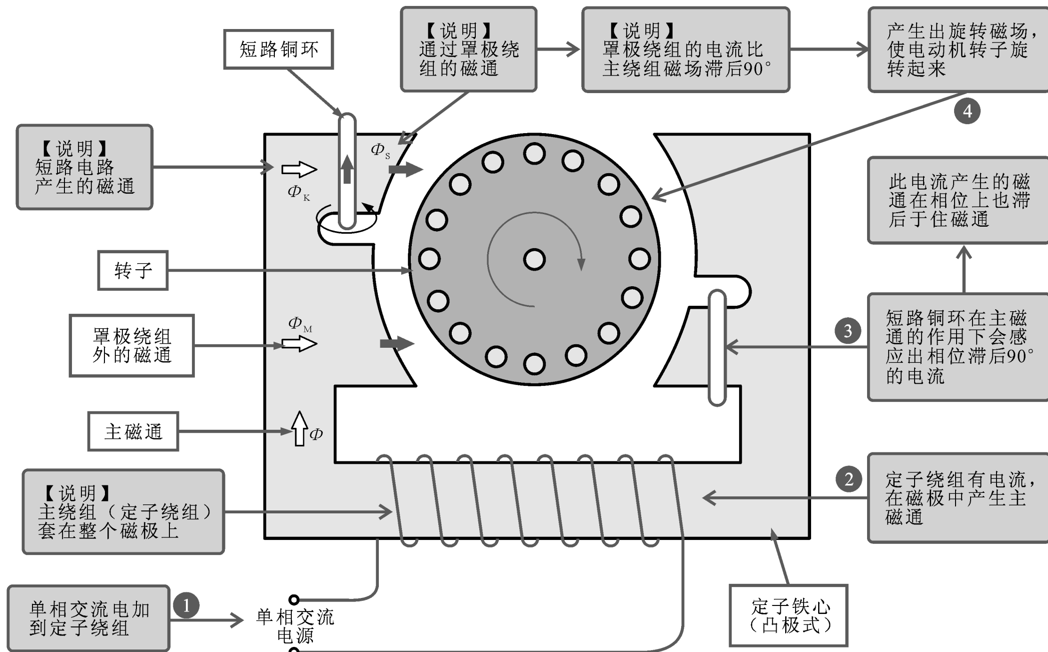


图 3-21　单相交流异步电动机的转动原理

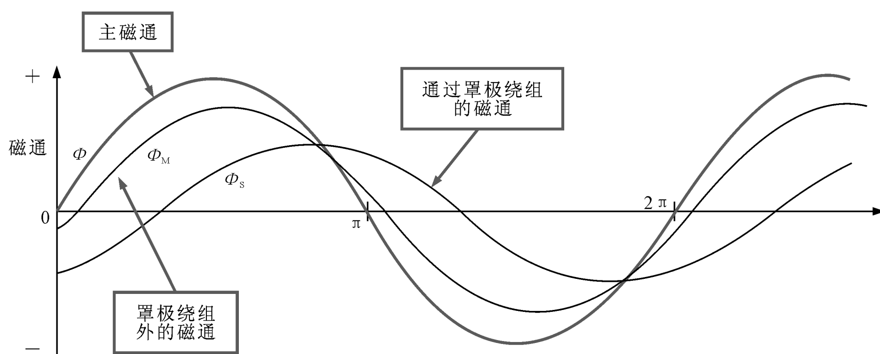


【资料】

前面所说的采用凸极式定子的单向异步电动机又称单相罩极式异步电动机。该类电动机的转动原理如图 3-22a 所示；图 3-22b 所示为其电压、电流的波形。



a) 转动原理



b) 电压、电流的波形

图 3-22　单相罩极式异步电动机的转动原理与电压、电流波形

2. 单相交流异步电动机定子磁场的形成过程

单相交流电是一种频率为 50 Hz 的正弦交流电，如果电动机定子只有一个运行绕组，当单相交流电加到电动机的定子绕组时，定子绕组就会产生交变的磁场，该磁场的强弱和方向是随时间按正弦规律变化的，但在空间上是固定的。

这个磁场可以分解为两个以相同转矩和旋转方向互为相反的旋转磁场，如图 3-23 所示，当转子静止时，这两个旋转磁场在转子中产生两个大小相等，方向相反的转矩，合成转矩为零，所以转子无法转动。当外力使转子转动时，上述平衡就会打破，转子所受到的转矩不再为零，则会沿着驱动的方向旋转起来。

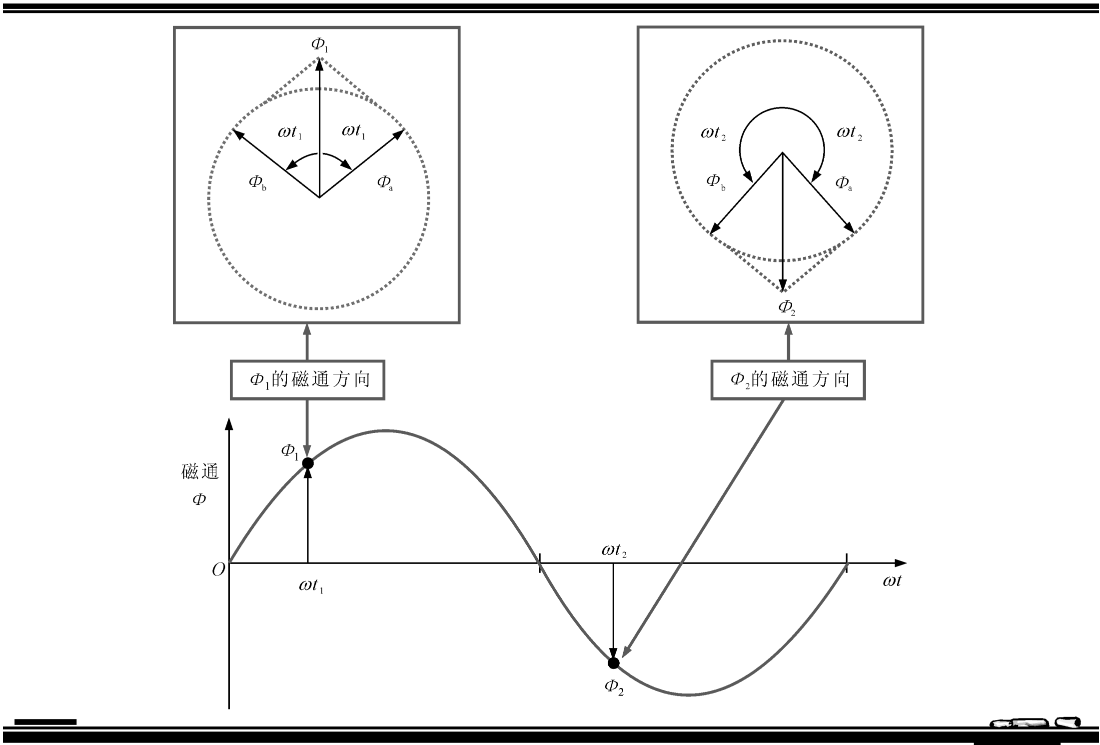


图 3-23　单相交流异步电动机定子交变磁场的分解

要使单相交流异步电动机能自动起动，通常是在电动机的定子上增加一个起动绕组，起动绕组与运行绕组在空间上相差90°。外加电源经电容或电阻接到起动绕组上，起动绕组的电流与运行绕组相差90°，这样在空间上相差90°的绕组，在外电源的作用下形成相差90°的电流，于是在空间上就形成了两相旋转磁场，如图 3-24 所示。在旋转磁场的作用下，转子就能自动起动，起动后当转子转速到达一定的值后，起动绕组可以断开，只有运行绕组工作，起动绕组也可以不断开继续参与运行工作。而且，只要改变一下起动绕组的接头即可实现转动方向的控制。

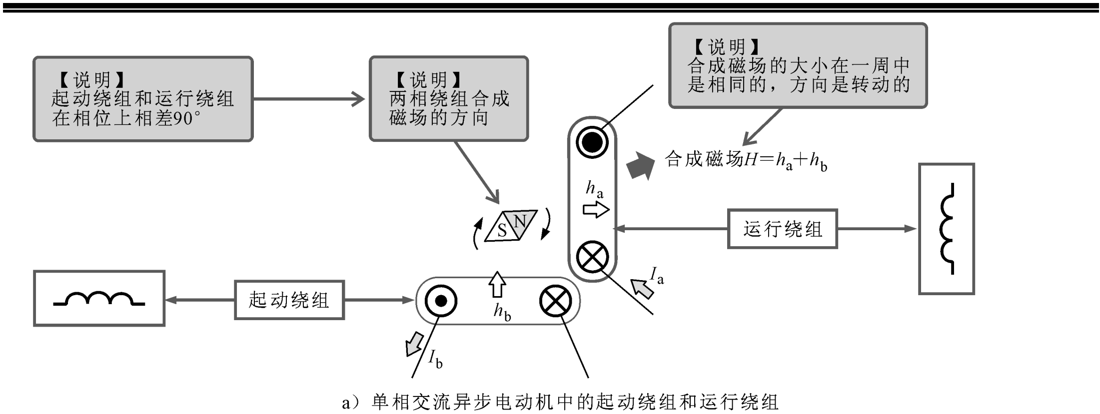
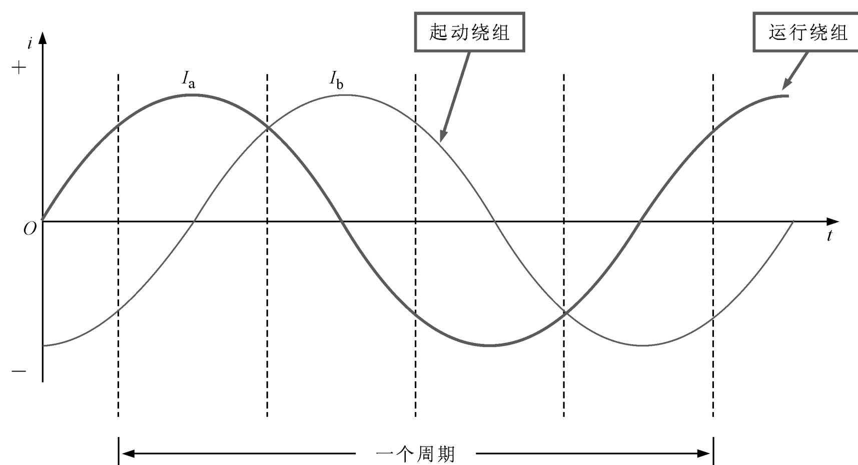
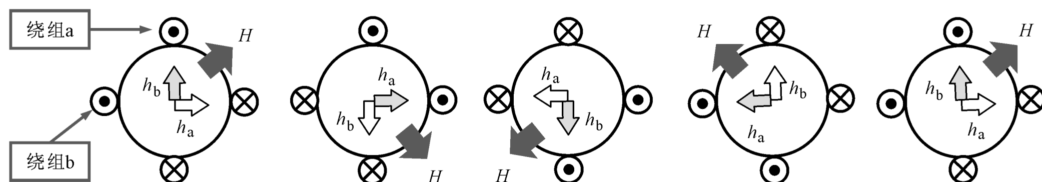


图 3-24　单相交流电源与单相交流异步电动机合成磁场的方向



b）单相交流异步电动机起动绕组和运行绕组中的电流



c）电动机在转动过程中两相绕组合成磁场的方向

图 3-24 单相交流电源与单相交流异步电动机合成磁场的方向（续）

3.3 什么是三相交流电动机





三相交流电动机是利用三相交流电源供电的电动机，其供电电压一般为交流 380V，三相交流电动机也有异步和同步之分，但最为常见的是三相异步电动机。图 3-25 所示为典型的三相交流异步电动机外形。

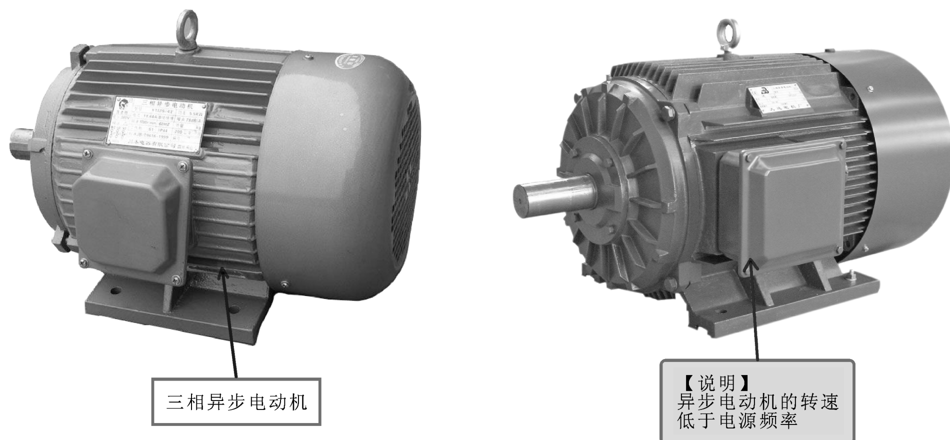


图 3-25 典型的三相交流异步电动机外形





【资料】

三相交流同步电动机是指三相交流电动机的转速与电源供电频率同步的电动机，其转速不随负载变化，功率因数可调节，通常应用于转速恒定的、对转速有严格要求的大功率机电设备中。

三相异步电动机内部同样是由静止的定子和转动的转子两个主要部分构成的。其中定子部分是由定子绕组（三相线圈）、定子铁心和外壳等组成的，转子部分是由转子绕组、转子铁心、转轴、轴承等组成的。图 3-26 所示为典型三相异步电动机的内部结构。

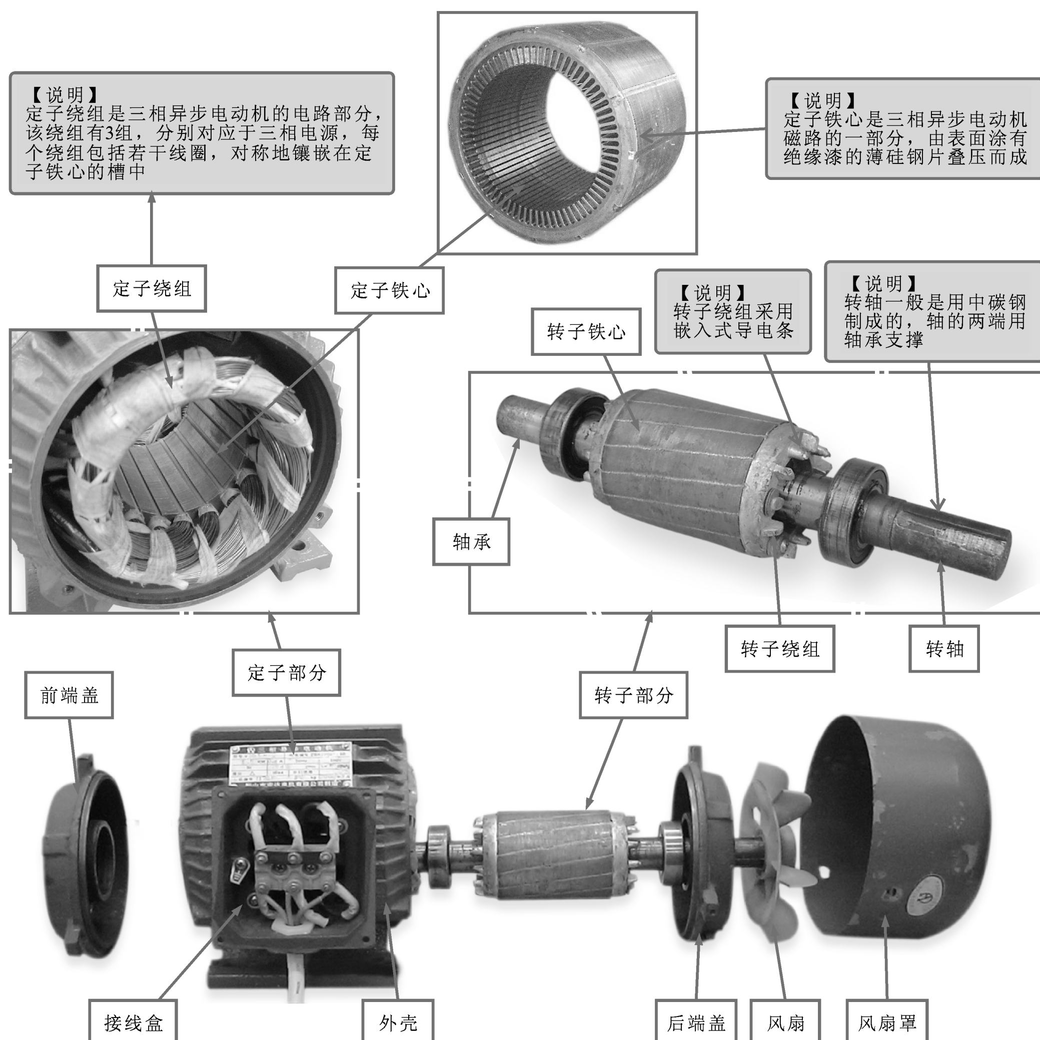


图 3-26 典型三相异步电动机的内部结构



【注意】

三相异步电动机根据转子线圈的形式不同，又可分为笼型异步电动机和绕线型异步电动机。笼型异步电动机的转子线圈采用嵌入式导电条，其外形如同鼠笼；绕线型异步电动机中转子采用传统的绕线方式，如图3-27所示。







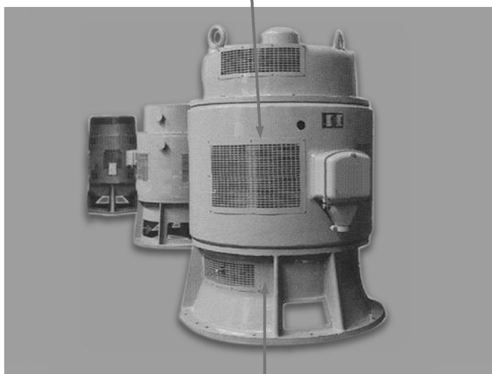


图3-27　笼型和绕线型异步电动机

3.3.1　三相交流电动机有什么用



三相交流电动机采用三相交流电源供电，因此要比单相交流电动机有更大的拖动力，运行更加可靠，广泛应用于工农业机械、运输机械、机床等设备中。其中笼型异步电动机结构简单，而且可靠耐用，工作效率也高，主要应用于水泵、机床、电梯等动力设备中。绕线型异步电动机可通过外接可变电阻器实现速度调节，主要应用于要求有一定调速范围、调速性能的生产机械中，如起重机、卷扬机等。图3-28所示为三相交流电动机的功能应用。

1. 工农业生产型机械中的应用

在工农业生产中，各类生产型机械都需要具备一定能量实现各类生产中的能量转换，而这种能量基本依靠于设备中的交流电动机提供。常见的工农业生产型机械如各种机床、起重设备、农业机械、泵类、传送带等，如图3-29所示。

2. 商业生活机械中的应用

图3-30所示为日常生活中的电力拖动系统。日常生活中的电梯、自动门等设备的主要动力源是电动机，通过控制线路对电动机的工作状态进行控制，来满足人们的生活需要，提供更加快



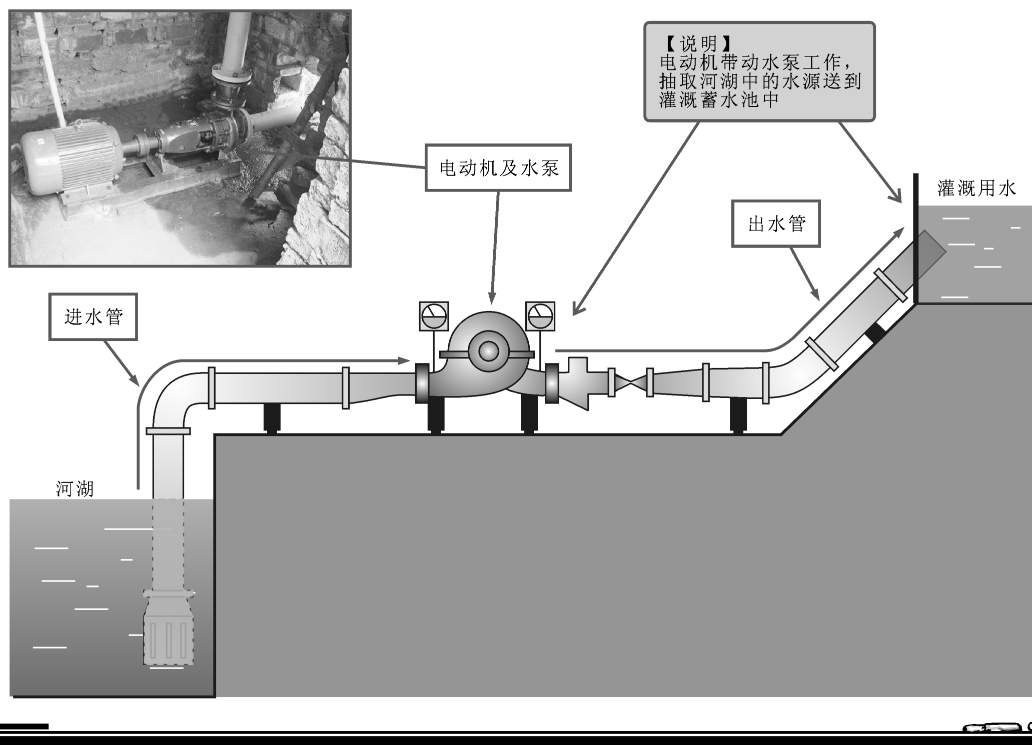


图 3-28　三相交流电动机的功能应用

捷、方便的生活方式。

3.3.2　三相交流电动机怎么工作



我们已对单相交流电动机的工作过程有所了解，那么三相交流电动机是如何实现电能到机械能转换的呢？下面我们将深入到三相交流电动机的工作原理中，以三相交流异步电动机为例，介绍这一工作过程。

1. 三相交流异步电动机的转动原理

三相交流异步电动机是由转子和定子两部分构成的，定子的结构是圆筒形，套在转子的外部，电动机的转子是圆柱形的，位于定子的中空部位。三相交流电加到定子绕组中，由定子绕组产生的旋转磁场使转子旋转。图 3-31 所示为典型三相交流异步电动机的转动原理。



【注意】

这里 n 始终不会加速到 n_0，因为只有这样，转子导体（绕组）与旋转磁场之间才会有相对运动而切割磁力线，转子导体（绕组）中才能产生感应电动机和电流，从而产生电磁转矩，使转子按照旋转磁场的方向连续旋转。定子磁场对转子的异步转矩是异步电动机工作的必要条件，“异步”的名称也由此而来。

2. 三相交流异步电动机定子磁场的形成过程

三相交流异步电动机需要三相交流电为其提供工作条件，而满足工作条件后，三相交流异步电动机的转子外侧会形成沿定子内圆旋转的磁场，从而使异步电动机的转子旋转，实现能量转换。

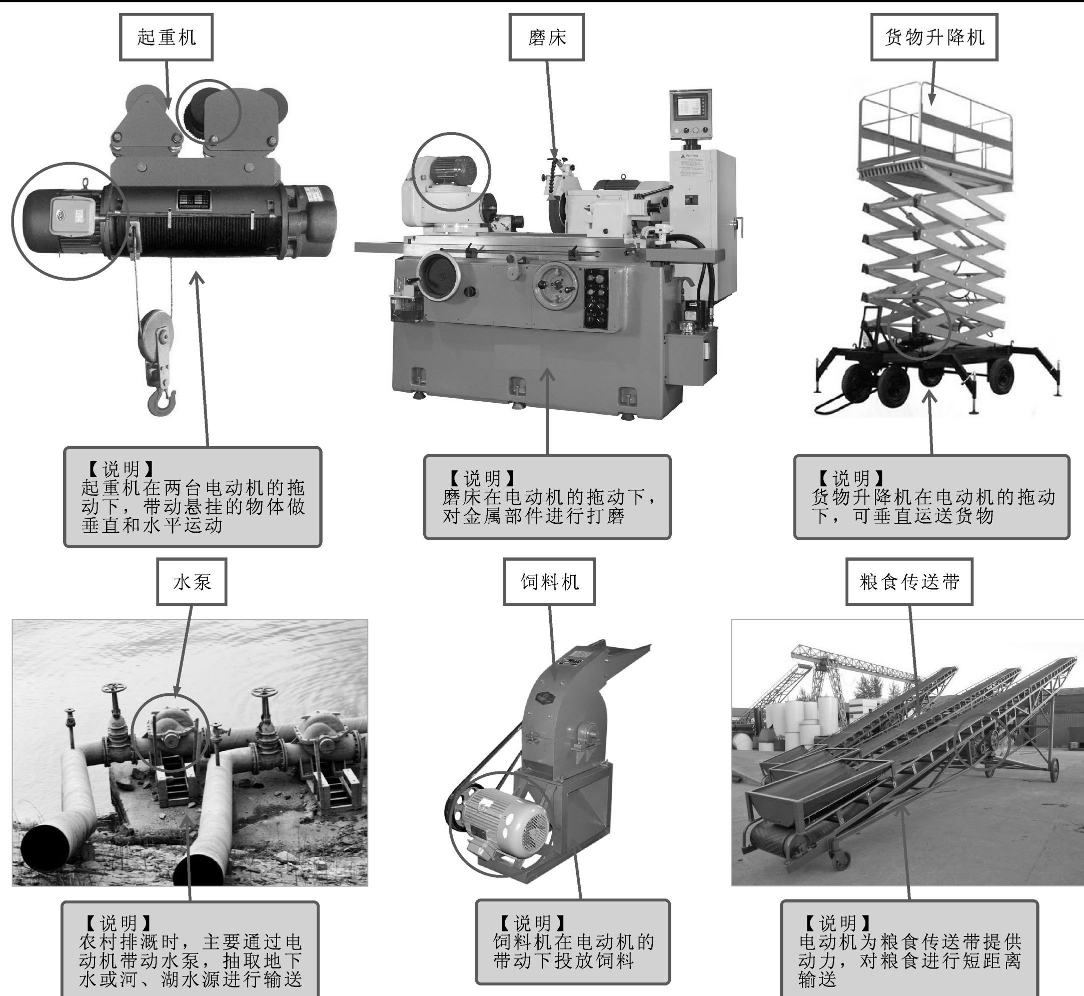


图 3-29　三相交流电动机在工农业生产型机械中的应用



图 3-30　日常生活中的电力拖动系统

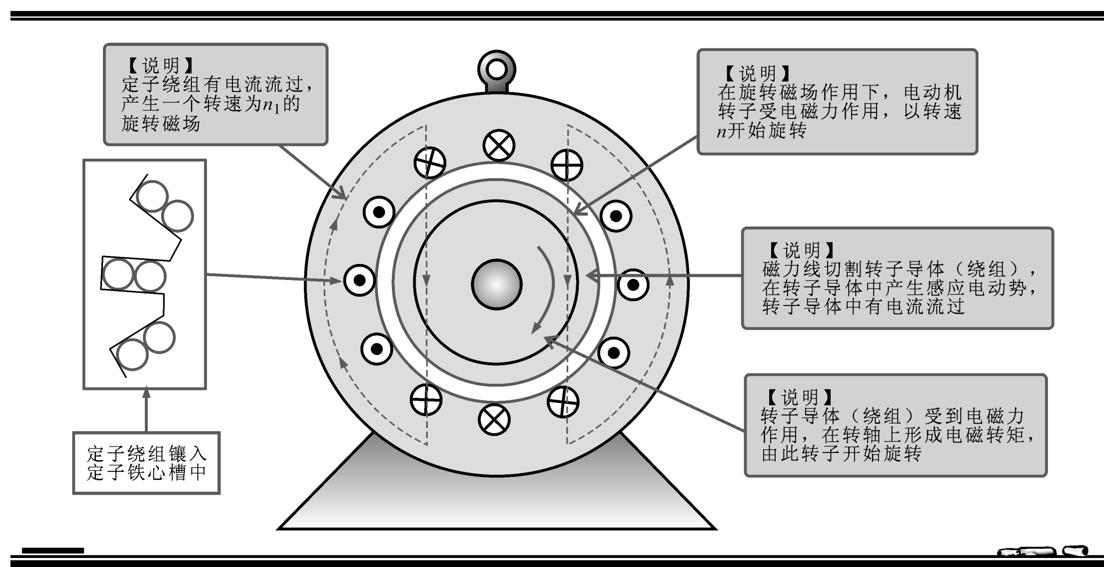


图 3-31　典型三相交流异步电动机的转动原理

（1）三相交流电的相位关系

三相交流电是指三根交流电源线同时供电的方式，这三根线供电的电压峰值和频率都是相同的，只是三线的电流和电压的相位互相差 120°，在任一时刻都是按正弦波的规律变化的。图3-32 所示为三相交流电的相位关系。

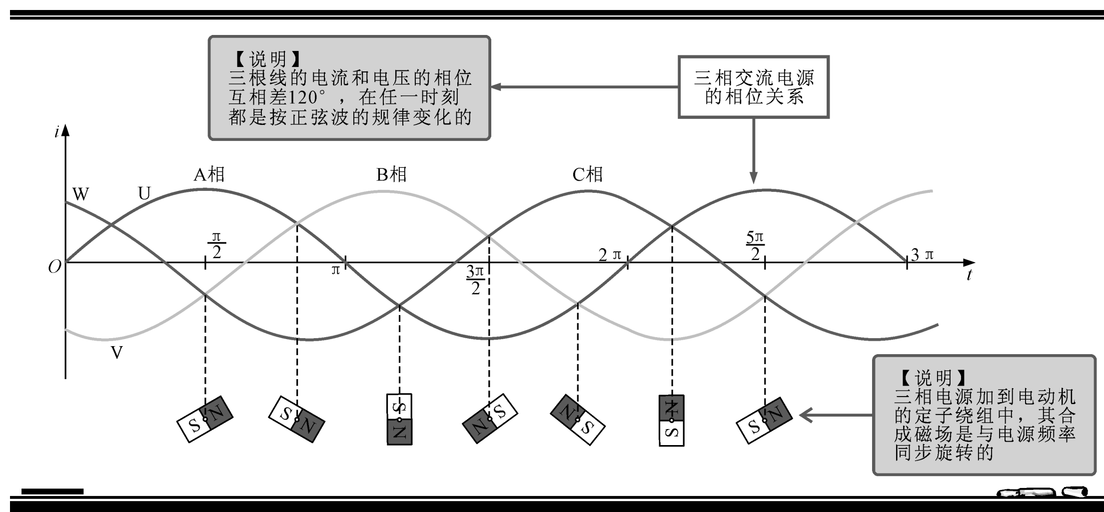


图 3-32　三相交流电的相位关系

（2）三相交流异步电动机旋转磁场的形成过程

三相交流异步电动机的定子绕组镶在定子铁心的槽中，定子铁心与外壳结合在一起。三相绕组在圆周上呈空间均匀分布，每一组绕组都是多圈构成的，且都是由两组对称分布的绕组构成的。图 3-33 所示为三相交流异步电动机定子的结构示意图。

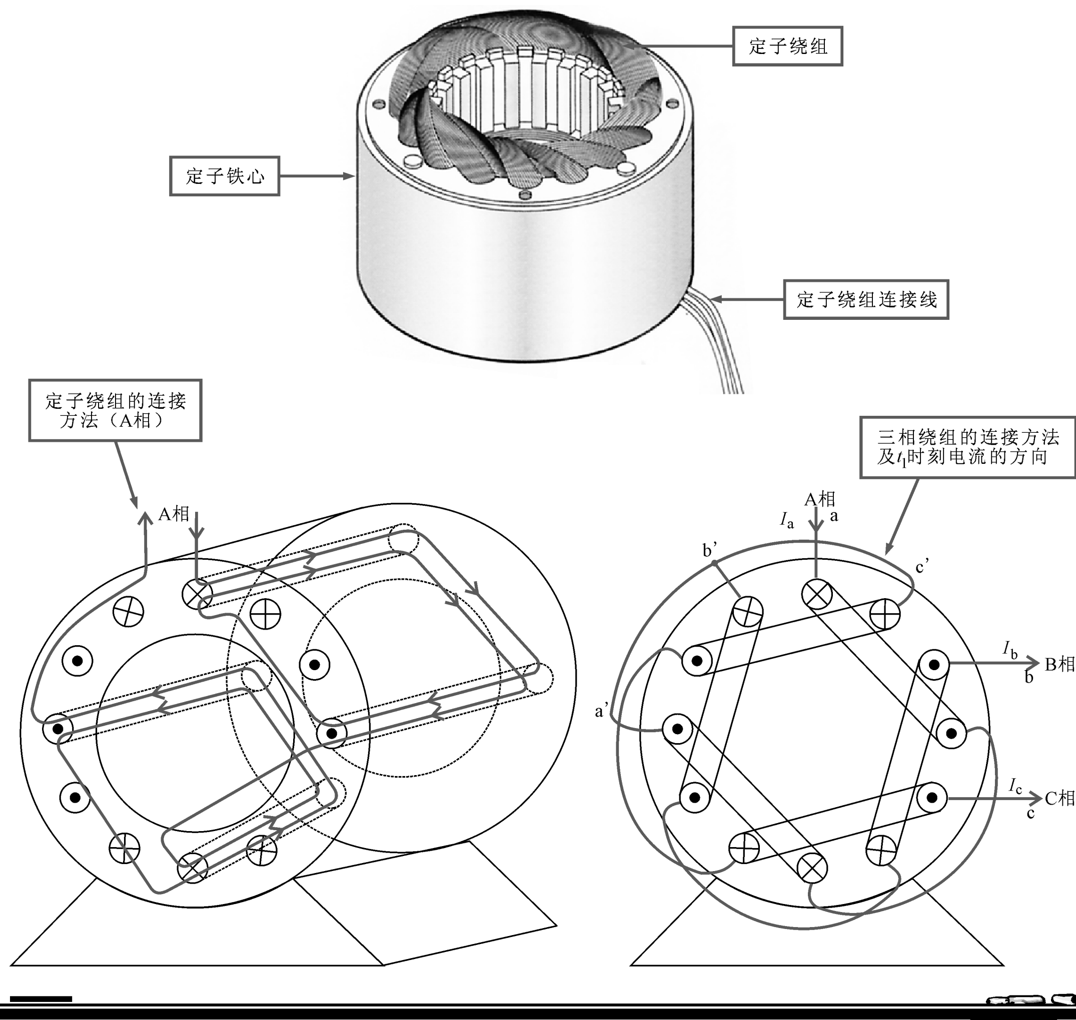


图 3-33　三相交流异步电动机定子的结构示意图



【注意】

三相交流电源变化一个周期，三相交流异步电动机的旋转磁场转过 1/2 转，每一相定子绕组分为两组，每组有两个绕组，相当于两个定子磁极。

三相交流电源加到定子线圈上三相交流异步电动机旋转磁场的形成过程，如图 3-34 所示。

（3）三相交流异步电动机合成磁场的方向

三相交流异步电动机合成磁场是指三相绕组产生的旋转磁场的总和。当三相交流异步电动机三相绕组加入交流电源时，由于三相交流电源的相位差为 120°，绕组在空间上呈 120°对称分布，因而可根据三相绕组的分布位置、接线方式、电流方向和时间判别合成磁场的方向。图 3-35 所示为三相交流异步电动机合成磁场在不同时间段的变化过程。

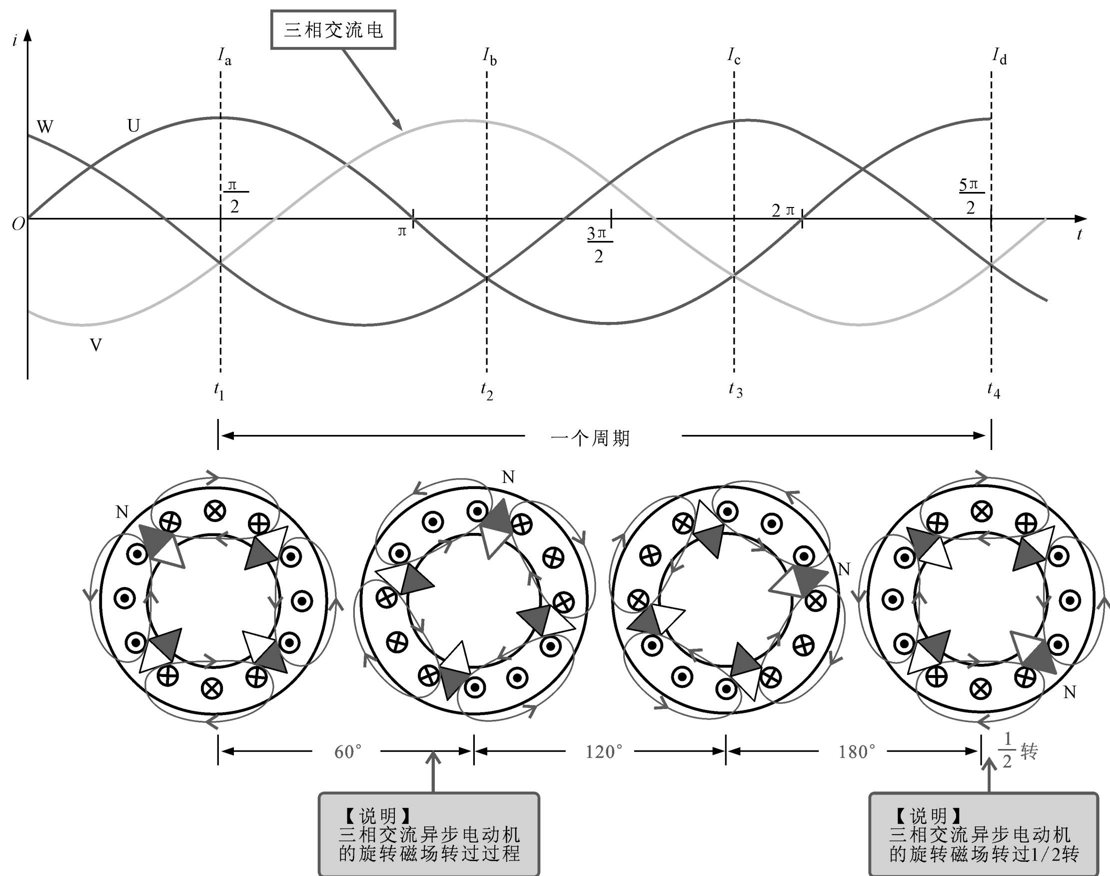


图 3-34　三相交流异步电动机旋转磁场的形成过程

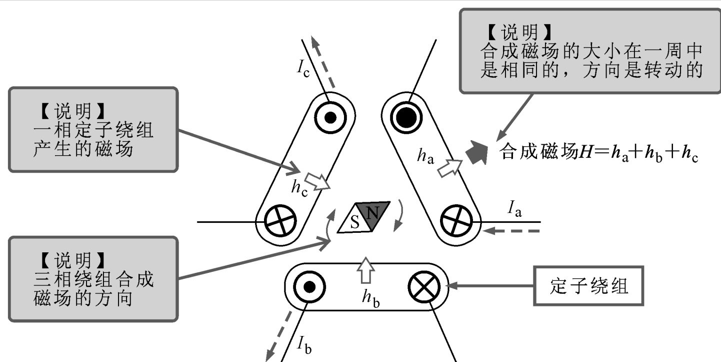


图 3-35　三相交流异步电动机合成磁场在不同时间段的变化过程

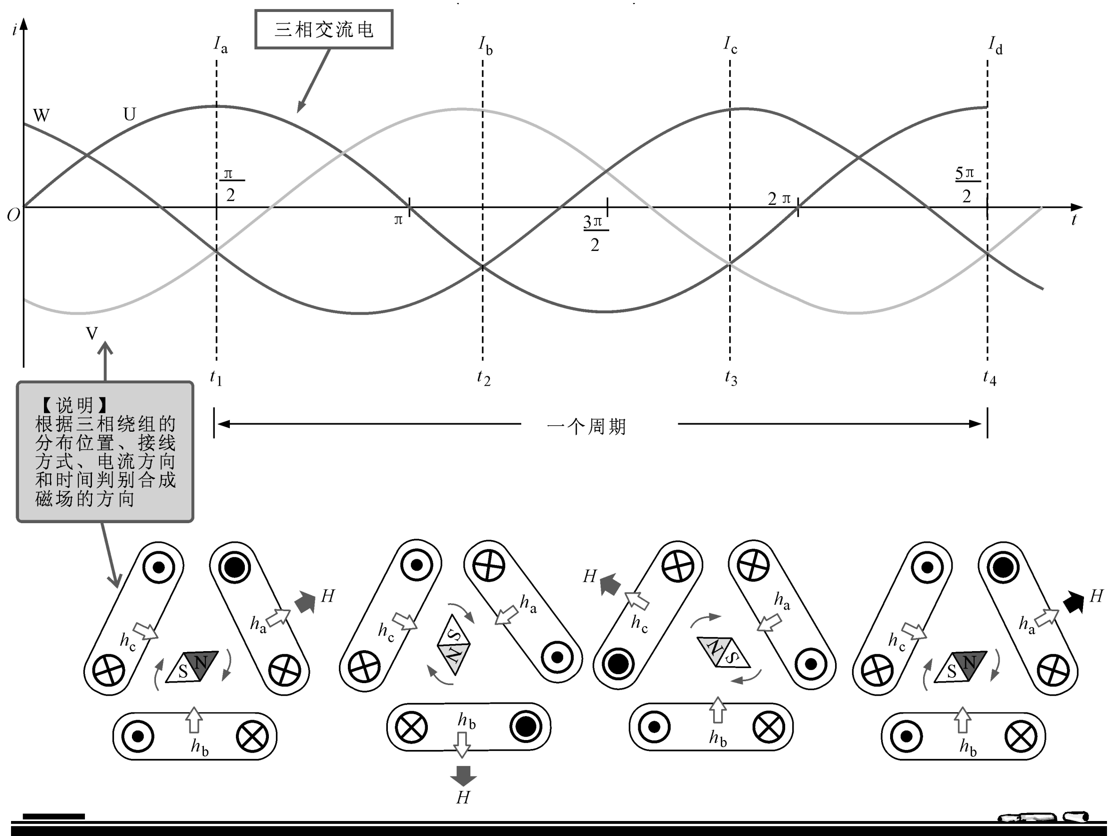


图 3-35　三相交流异步电动机合成磁场在不同时间段的变化过程（续）

第4章 轻松搞定电气控制中的控制关系



现在我们开始学习第4章，轻松搞定电气控制中的控制关系。相信通过第2章的学习，大家对电气控制中的元器件已经有了一个深入的认识，本章就来具体讲解一下电气控制中的元器件的控制关系。在本章中，我们特别对开关、继电器、接触器、传感器和保护器这几种主要控制器件的控制关系进行了归纳总结，依托典型的电路模型，结合电气控制原理图，向大家一一详细介绍这些电气部件的控制过程。力求让大家建立起一套系统规范的电气控制关系。下面，让我们从基础的控制电路入手，找到控制器件、搞定控制关系。

4.1 开关的控制关系





开关是一种控制电路闭合与断开的电气部件，主要用于对自动控制系统电路发出操作指令，从而实现对供配电系统电路、生产机械控制电路等实用电路的自动控制。本节从电源开关和按钮开关两个方面为大家讲解一下开关的控制关系。

4.1.1 电源开关的控制关系



电源开关在电工电路中主要用于接通用电设备的供电电源，图4-1所示为电源开关的连接关系。从图可看出该电源开关采用的是三相断路器，通过断路器来控制三相交流电动机电源的接通与断开，从而实现对三相交流电动机运转与停机的控制。

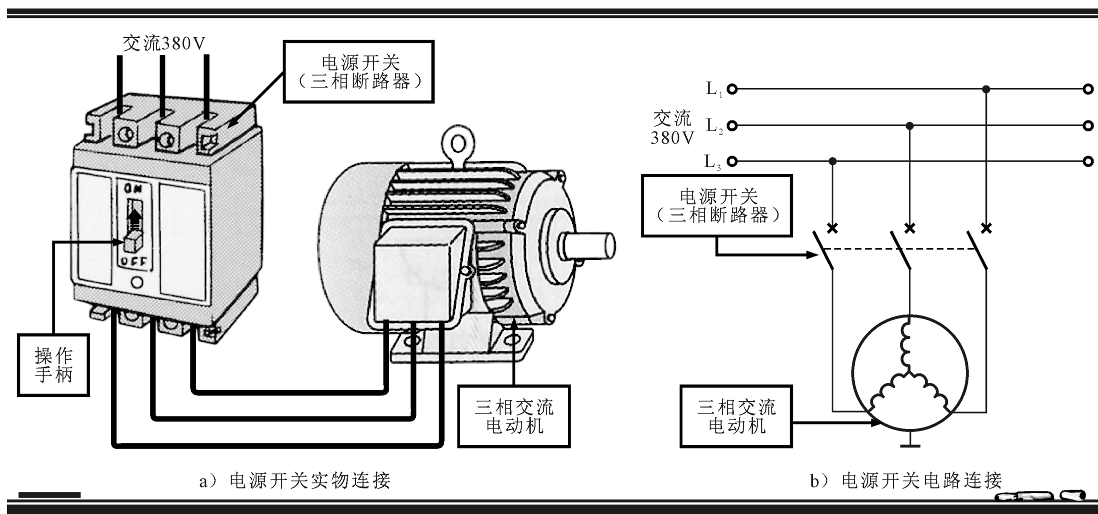


图4-1 电源开关的连接关系

图 4-2 所示为电源开关的控制关系。电源开关未动作时，其内部三组常开触点处于断开状态，切断三相交流电动机的三相供电电源，三相交流电动机不能起动运转；拨动电源开关的操作手柄，使其内部三组常开触点处于闭合状态，三相电源经电源开关内部的三组常开触点为三相交流电动机供电，三相交流电动机起动运转。

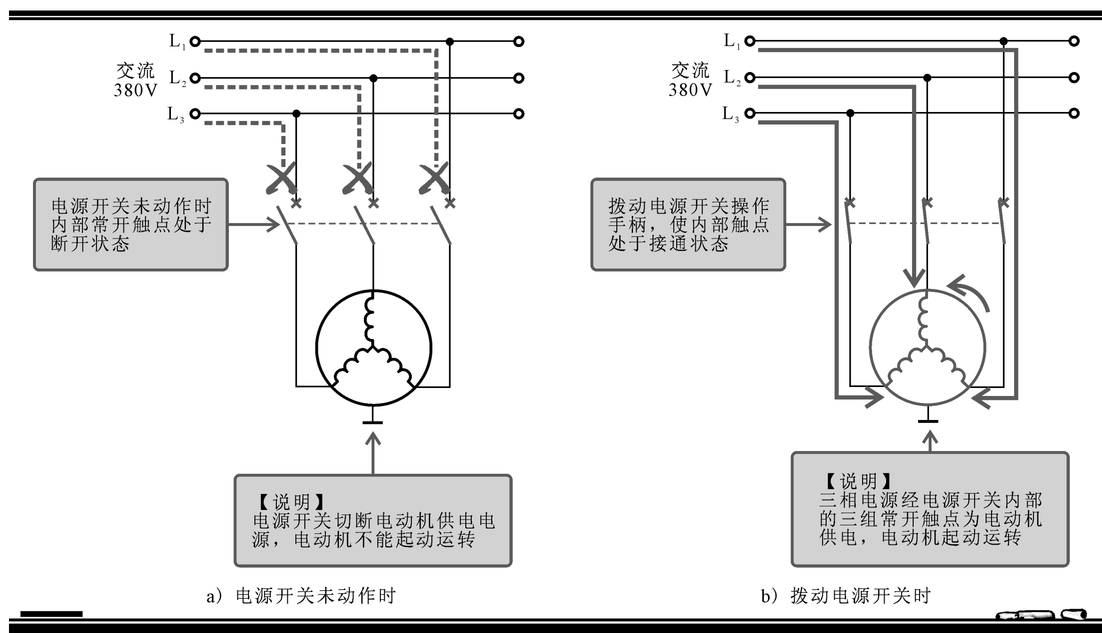


图 4-2　电源开关的控制关系

4.1.2　按钮开关的控制关系


按钮开关在电工电路中主要用于发出远距离控制信号或指令去控制继电器、接触器或其他负载设备，实现对控制电路的接通与断开，从而达到对负载设备的控制。


【资料】

按钮开关根据其内部结构的不同可分为不闭锁的按钮开关和可闭锁的按钮开关。不闭锁的按钮开关是指手指按下按钮开关时，内部触点动作，手指松开按钮时，其内部触点自动复位。而可闭锁的按钮开关是指手指按下按钮开关时，内部触点动作，手指松开按钮时，其内部触点不能自动复位，则需要再次按下按钮开关，其内部触点才可复位。

按钮开关是电路中的关键控制部件，不论是不闭锁按钮开关还是闭锁按钮开关，根据电路需要，都可分为常开、常闭和复合三种形式。

本小节以不闭锁按钮开关为例，分别为大家介绍一下这三种形式按钮开关的控制功能。

1. 不闭锁的常开按钮

不闭锁的常开按钮是指操作前内部触点处于断开状态，手指按下时内部触点处于闭合状态，而手指放松后，按钮自动复位断开，该按钮在电工电路中常用作起动控制按钮。

图 4-3 所示为不闭锁的常开按钮的连接控制关系。从图中可看出该不闭锁的常开按钮连接在电源与灯泡（负载）之间，用于控制灯泡的点亮与熄灭，在未对其进行操作时，灯泡处于熄灭

状态。按下按钮时，其内部常开触点闭合，电源经按钮内部闭合的常开触点为灯泡供电，灯泡点亮；当松开按钮时，其内部常开触点复位断开，切断灯泡供电电源，灯泡熄灭。

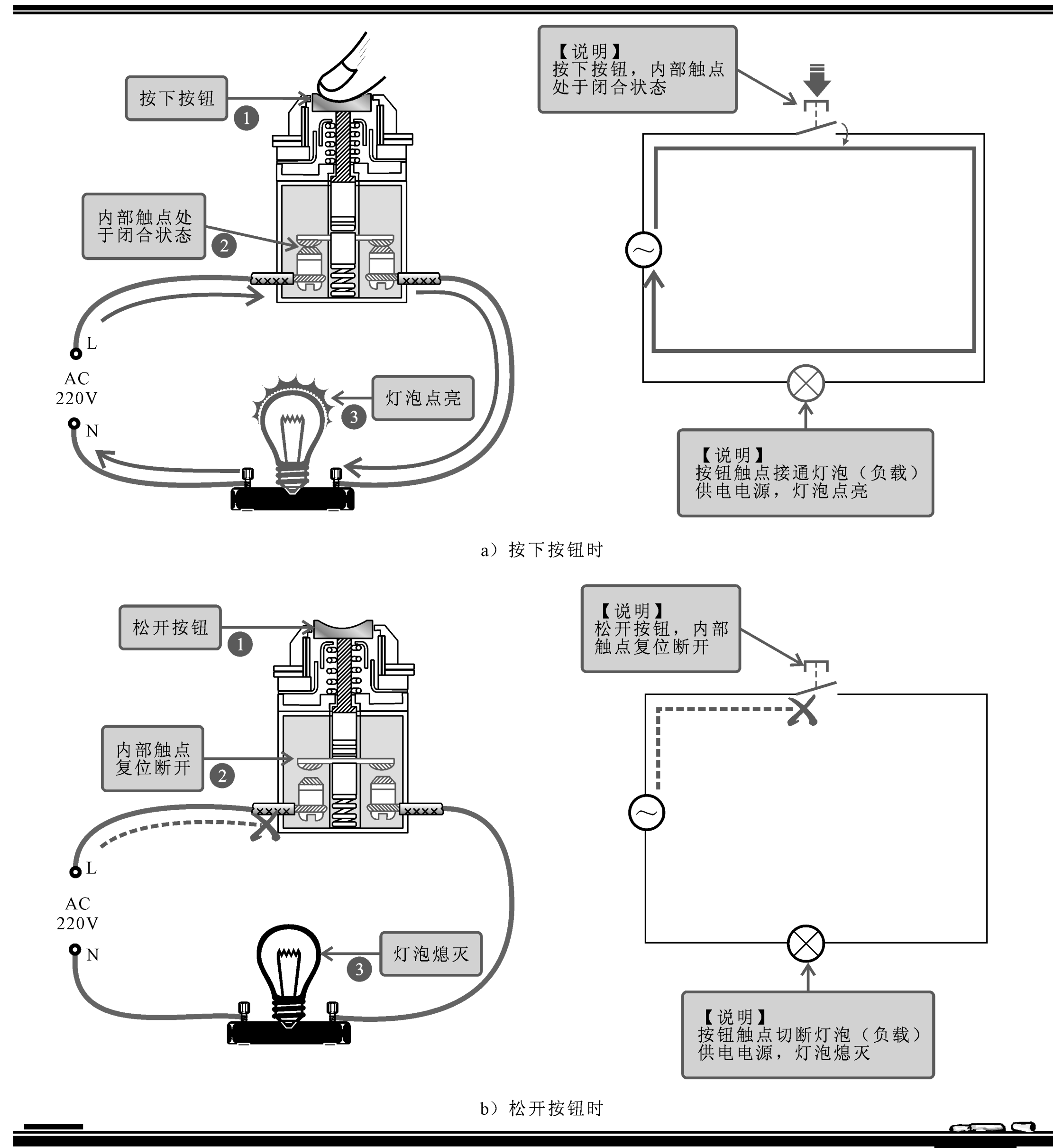


图 4-3　不闭锁的常开按钮的连接控制关系

2. 不闭锁的常闭按钮

不闭锁的常闭按钮是指操作前内部触点处于闭合状态，手指按下时内部触点处于断开状态，而手指放松后，按钮自动复位闭合，该按钮在电工电路中常用作停止控制按钮。

图 4-4 所示为不闭锁的常闭按钮的连接控制关系。从图中可看出这种不闭锁的常闭按钮连接在电源与灯泡（负载）之间，用于控制灯泡的点亮与熄灭。在未对其进行操作时，灯泡处于点亮状态。按下按钮时，其内部常闭触点断开，切断灯泡供电电源，灯泡熄灭；松开按钮时，其内部常闭触点复位闭合，接通灯泡供电电源，灯泡点亮。

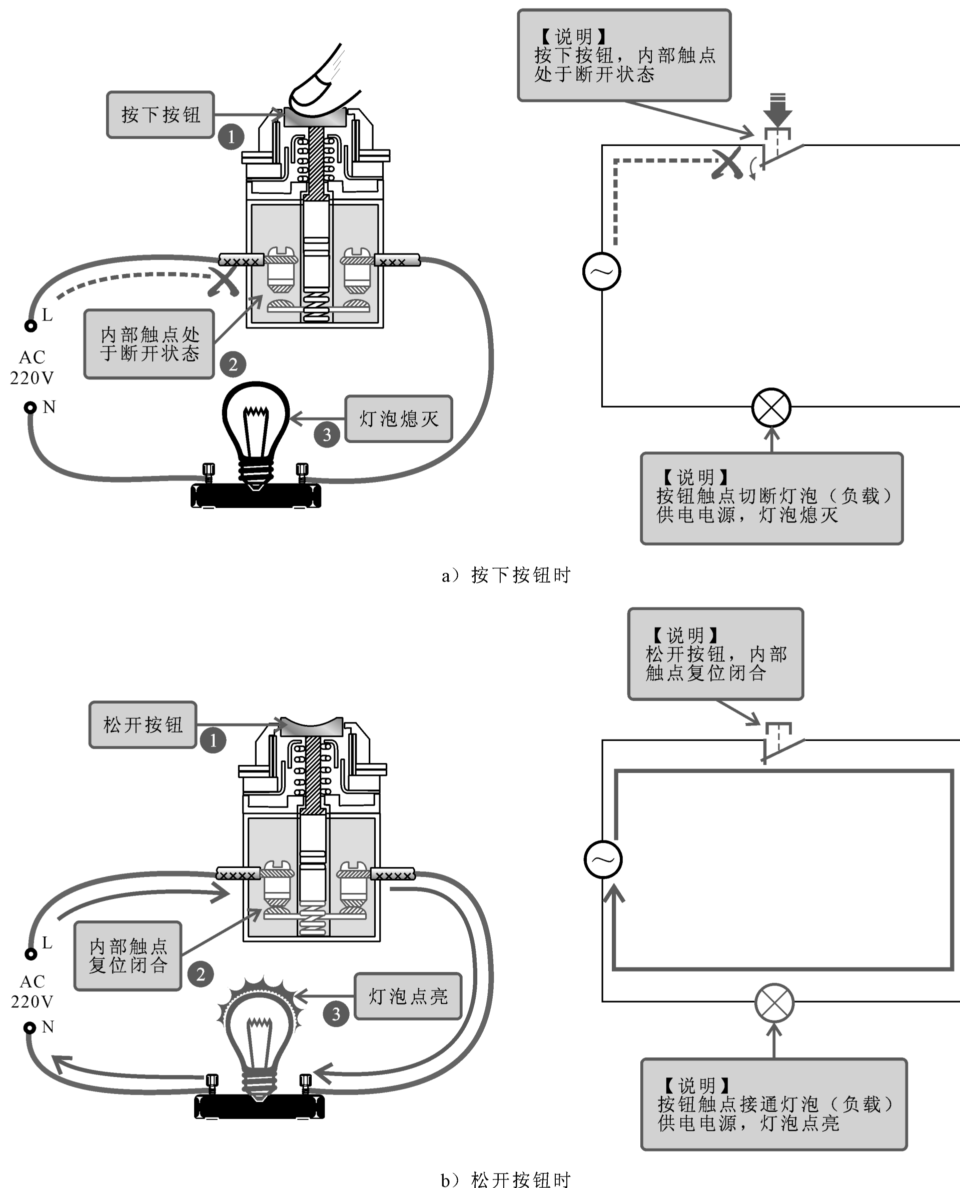


图 4-4　不闭锁的常闭按钮的连接控制关系

3. 不闭锁的复合按钮

不闭锁的复合按钮是指按钮内部设有两组触点，分别为常开触点和常闭触点。操作前常闭触点闭合，常开触点断开。当手指按下按钮时，常闭触点断开，而常开触点闭合；手指放松后，常闭触点复位闭合，常开触点复位断开。该按钮在电工电路中常用作起动联锁控制按钮。

图 4-5 所示为不闭锁的复合按钮的连接控制关系。从图中可看出该不闭锁的复合按钮连接在电源与灯泡（负载）之间，分别控制灯泡 EL1 和灯泡 EL2 的点亮与熄灭。在未对其进行操作时，灯泡 EL2 处于点亮状态，灯泡 EL1 处于熄灭状态。

按下按钮时，其内部常开触点闭合，接通灯泡 EL1 的供电电源，灯泡 EL1 点亮；同时，常闭触点断开，切断灯泡 EL2 的供电电源，灯泡 EL2 熄灭。当松开按钮时，其内部常开触点复位



断开，切断灯泡 EL1 的供电电源，灯泡 EL1 熄灭；同时，常闭触点复位闭合，接通灯泡 EL2 的供电电源，灯泡 EL2 点亮。

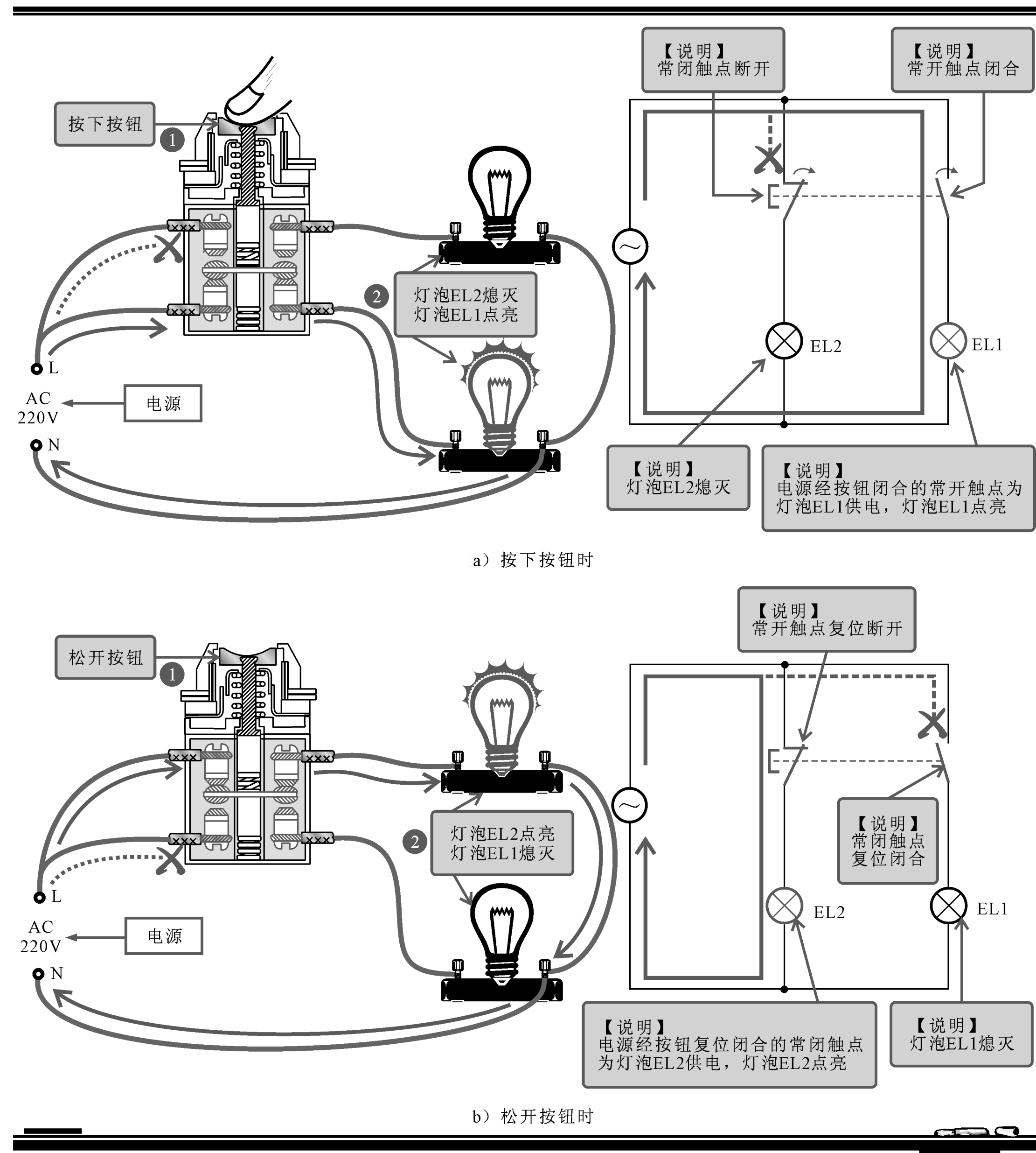


图 4-5　复合按钮的连接控制关系

4.2　继电器的控制关系





继电器是使用非常普遍的电子元件，在许多机械控制上及电子电路中都采用这种器件。本节从继电器的常开触点、常闭触点和转换触点这三个方面来为大家讲解一下继电器的控制关系。

继电器通常都是由铁心、线圈、衔铁、触点等组成的，图 4-6 所示为典型继电器的内部结构。

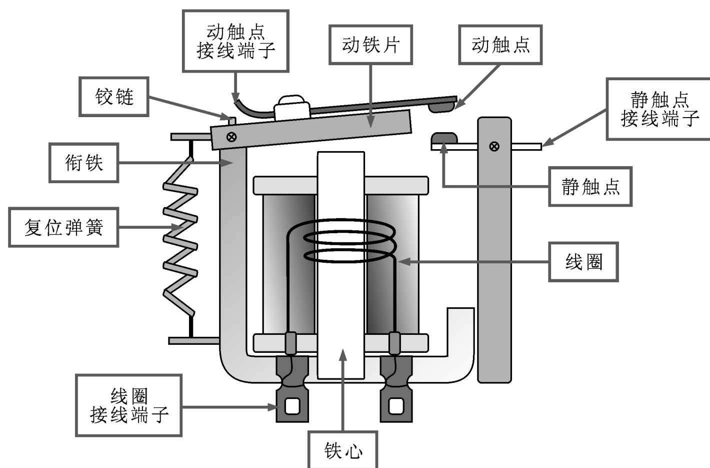


图 4-6　典型继电器的内部结构

继电器工作时，通过在线圈两端加上一定的电压，线圈中产生电流，从而产生电磁效应，衔铁就会在电磁力吸引的作用下克服返回复位弹簧的拉力吸向铁心，来控制触点的闭合。当线圈失电后，电磁吸力消失，衔铁会在复位弹簧的反作用力下返回原来的位置，使触点断开。通过该方法可控制电路的导通与切断。

4.2.1　继电器常开触点的控制关系



继电器的常开触点是指继电器内部的动触点和静触点处于断开状态。当线圈得电时，其动触点和静触点立即闭合接通电路。当线圈失电时，其动触点和静触点立即复位断开，切断电路。

图 4-7 所示为继电器常开触点的连接关系。从图中可看出该继电器 K 线圈连接在不闭锁的常开按钮与电池之间，常开触点 K-1 连接在电源与灯泡 EL（负载）之间，用于控制灯泡的点亮与熄灭。在未接通电路时，灯泡 EL 处于熄灭状态。按下按钮 SB 时，电路接通，继电器 K 线圈得电，常开触点 K-1 闭合，接通灯泡 EL 供电电源，灯泡 EL 点亮。

图 4-8 所示为继电器常开触点的控制关系。松开按钮 SB 时，电路断开，继电器 K 线圈失电，常开触点 K-1 复位断开，切断灯泡 EL 供电电源，灯泡 EL 熄灭。

4.2.2　继电器常闭触点的控制关系



继电器的常闭触点是指继电器内部的动触点和静触点处于闭合状态。当线圈得电时，其动触点和静触点立即断开切断电路。当线圈失电时，其动触点和静触点立即复位闭合，接通电路。

图 4-9 所示为继电器常闭触点的连接关系。从图中可看出该继电器 K 线圈连接在不闭锁的常开按钮与电池之间，常闭触点 K-1 连接在电源与灯泡 EL（负载）之间，用于控制灯泡的点亮与熄灭，在未接通电路时，灯泡 EL 处于点亮状态。按下按钮 SB 时，电路接通，继电器 K 线圈得电，常闭触点 K-1 断开，切断灯泡 EL 供电电源，灯泡 EL 熄灭。



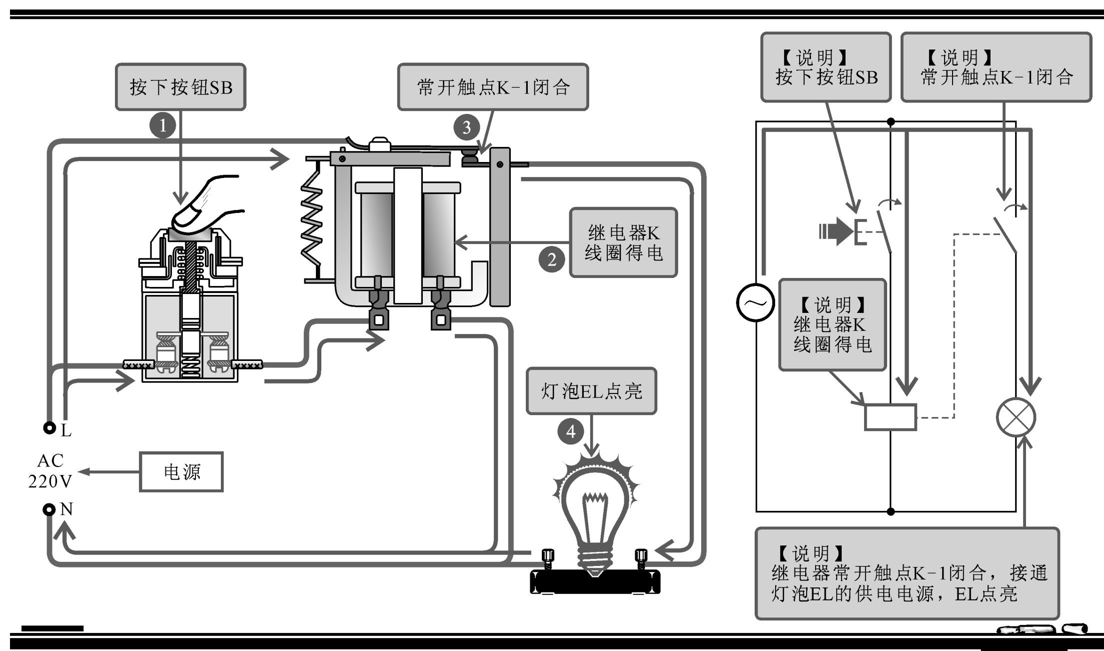


图 4-7　继电器常开触点的连接关系

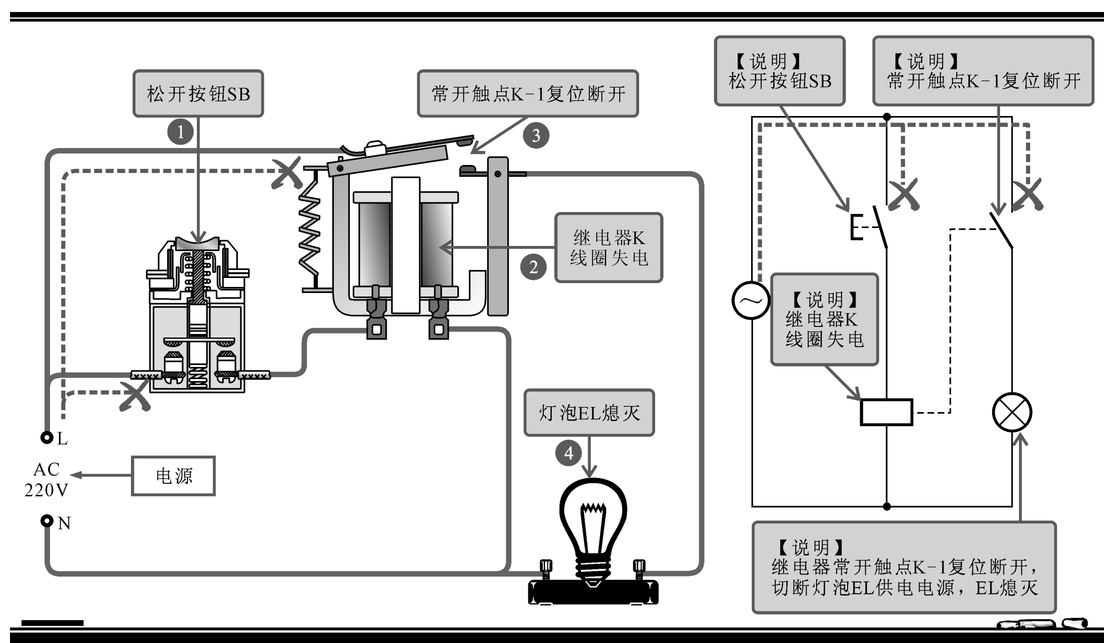


图 4-8　继电器常开触点的控制关系

图 4-10 所示为继电器常闭触点的控制关系。松开按钮 SB 时，电路断开，继电器 K 线圈失电，常闭触点 K-1 复位闭合，接通灯泡 EL 供电电源，灯泡 EL 点亮。

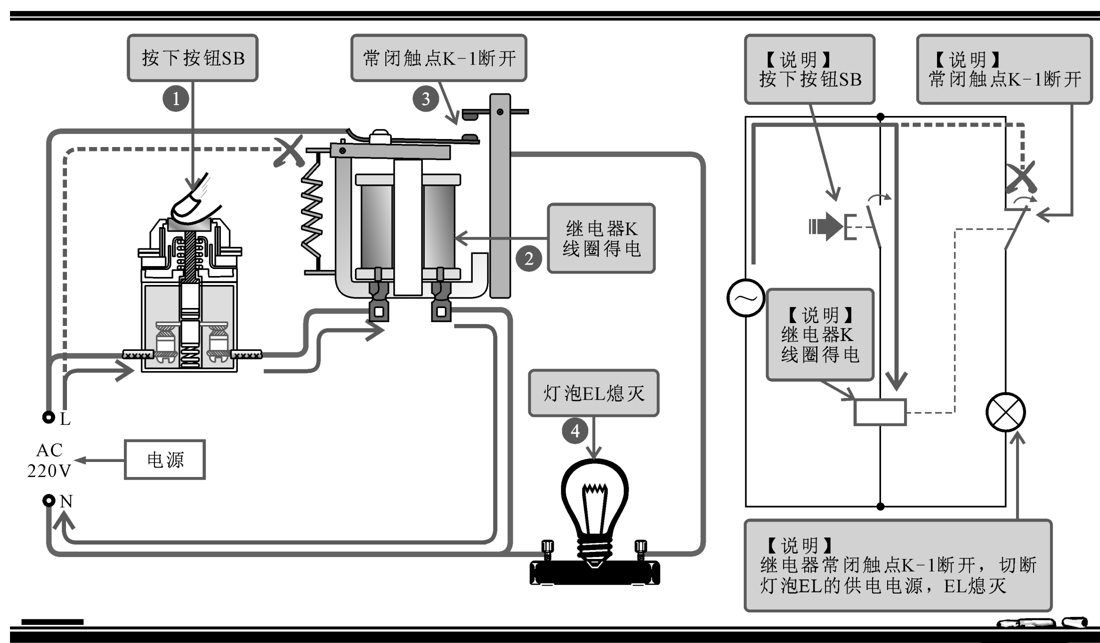


图 4-9　继电器常闭触点的连接关系

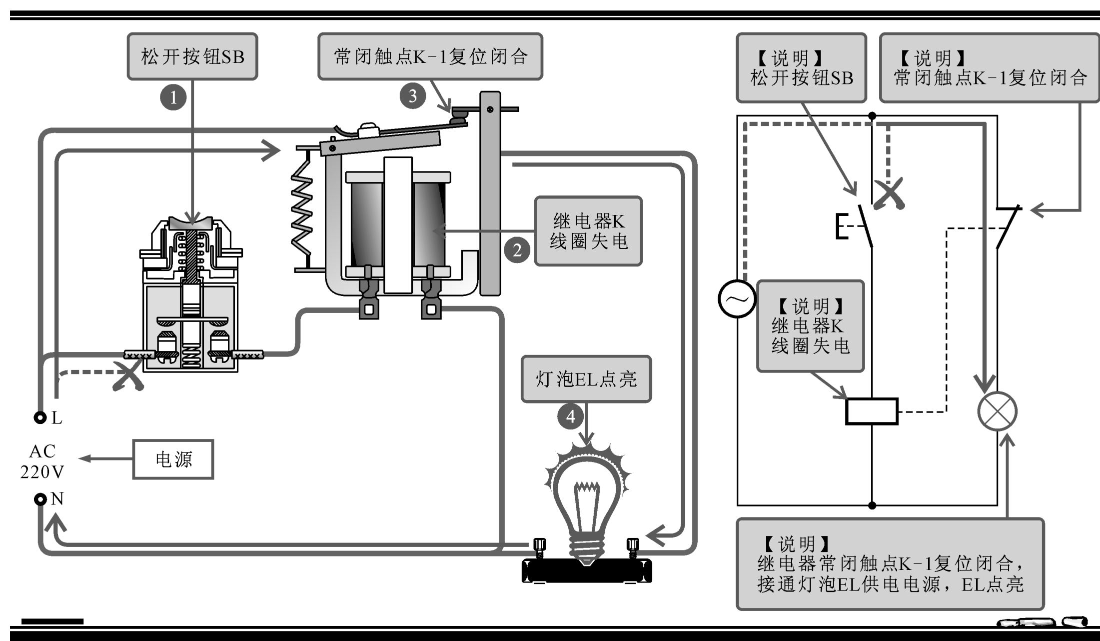


图 4-10　继电器常闭触点的控制关系

4.2.3　继电器转换触点的控制关系



继电器的转换触点是指继电器内部设有一个动触点和两个静触点，其中动触点与静触点 1 处于闭合状态，称为常闭触点，动触点与静触点 2 处于断开状态，称为常开触点，如图 4-11 所示。



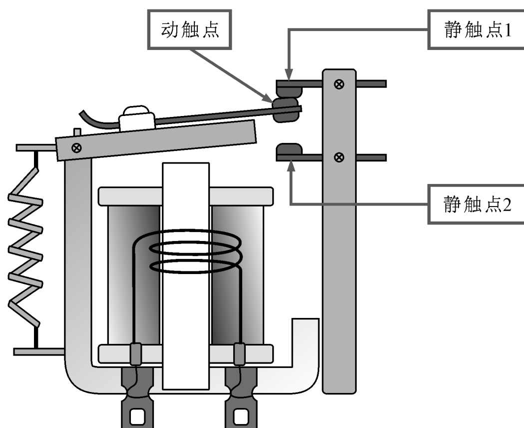


图 4-11　继电器的转换触点

当线圈得电时，其动触点与静触点 1 立即断开并与静触点 2 闭合，切断静触点 1 的控制电路，接通静触点 2 的控制电路。当线圈失电时，动触点复位，即动触点与静触点 2 复位断开并与静触点 1 复位闭合，切断静触点 2 的控制电路，接通静触点 1 的控制电路。

图 4-12 所示为继电器转换触点的连接关系。从图中可看出该继电器 K 线圈连接在不闭锁的常开按钮与电池之间。常闭触点 K-1 连接在电池与灯泡 EL1（负载）之间，用于控制灯泡 EL1 的点亮与熄灭，常开触点 K-2 连接在电池与灯泡 EL2（负载）之间，用于控制灯泡 EL2 的点亮与熄灭。在未接通电路时，灯泡 EL1 处于点亮状态，灯泡 EL2 处于熄灭状态。

按下按钮 SB 时，电路接通，继电器 K 线圈得电，常闭触点 K-1 断开，切断灯泡 EL1 的供电电源，灯泡 EL1 熄灭。同时常开触点 K-2 闭合，接通灯泡 EL2 的供电电源，灯泡 EL2 点亮。

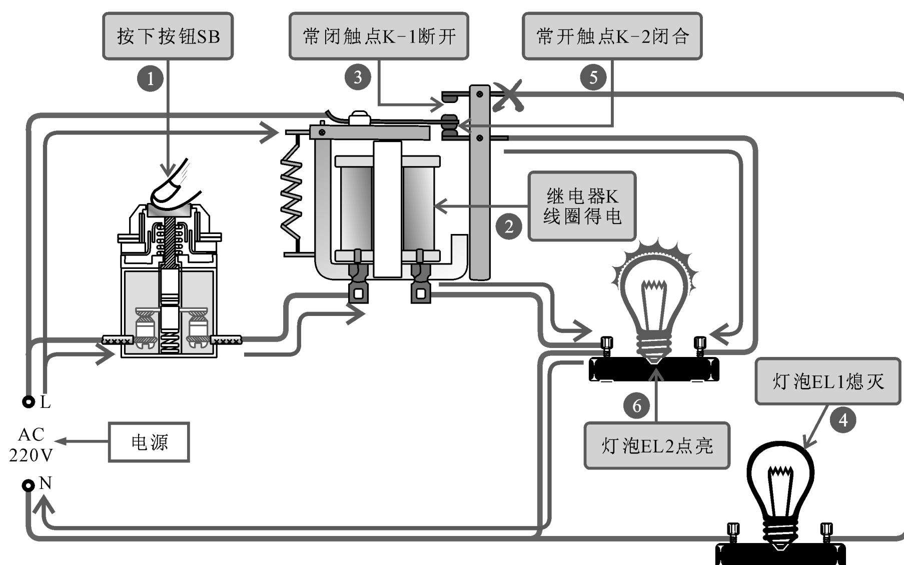


图 4-12　继电器转换触点的连接关系

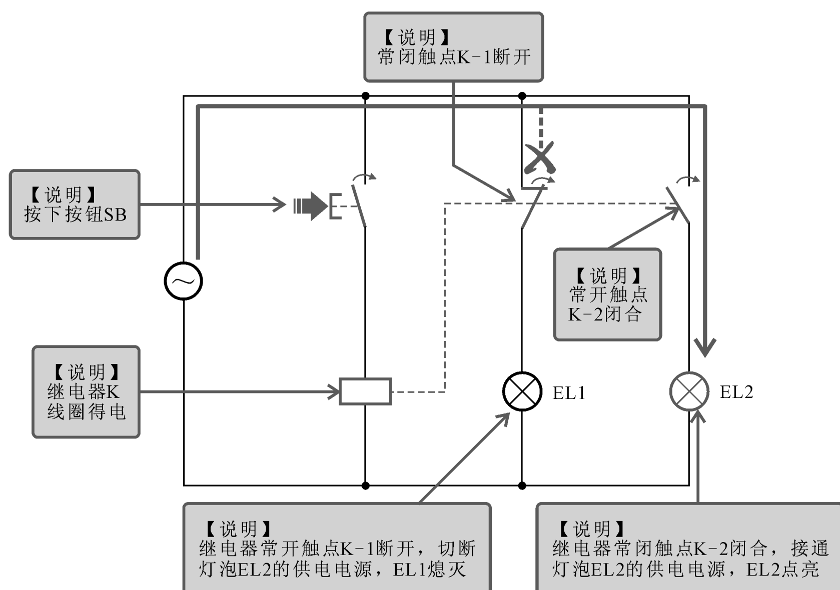


图 4-12　继电器转换触点的连接关系（续）

图 4-13 所示为继电器转换触点的控制关系。松开按钮 SB 时，电路断开，继电器 K 线圈失电，常闭触点 K-1 复位闭合，接通灯泡 EL1 的供电电源，灯泡 EL1 点亮。同时常开触点 K-2 复位断开，切断灯泡 EL2 的供电电源，灯泡 EL2 熄灭。

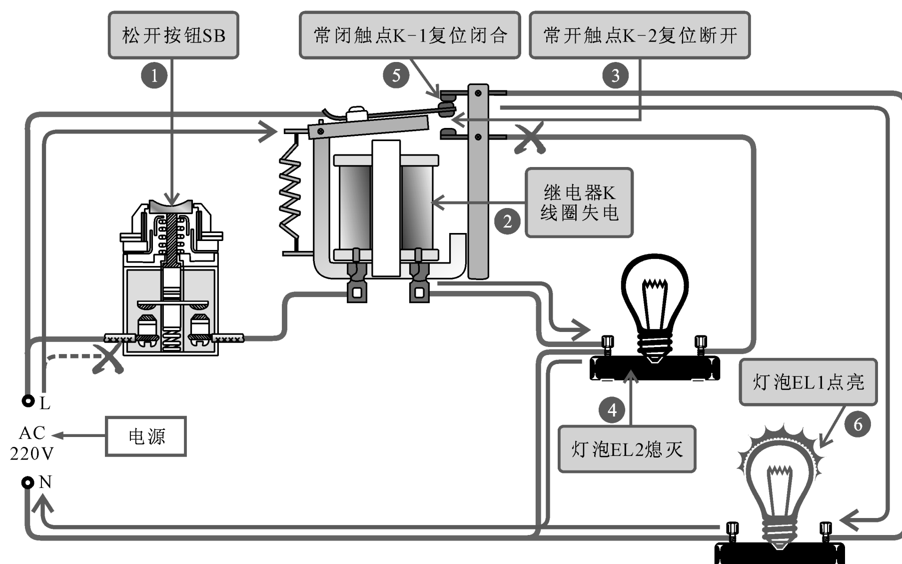


图 4-13　继电器转换触点的控制关系

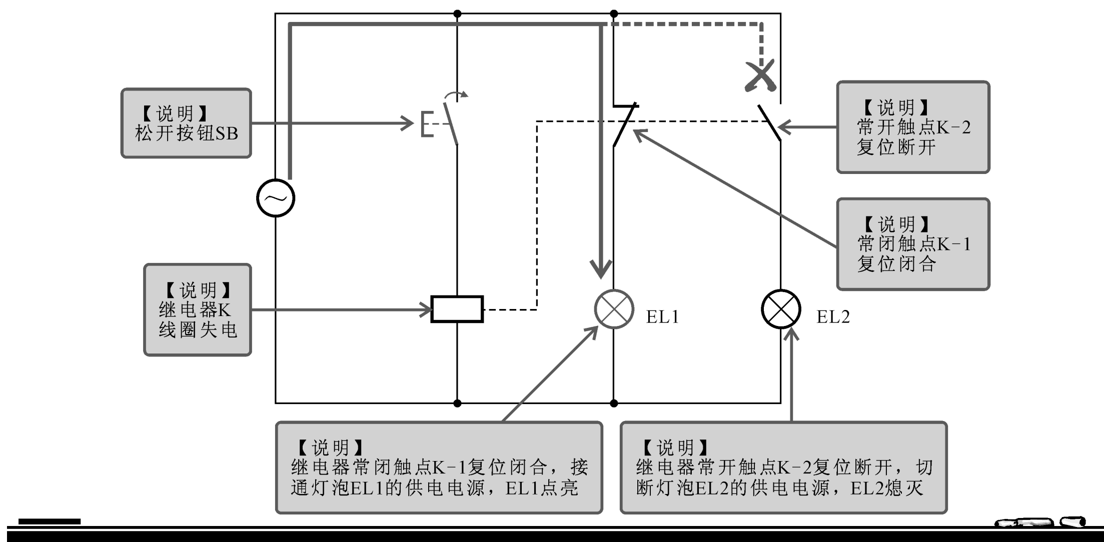


图4-13　继电器转换触点的控制关系（续）

4.3　接触器的控制关系





接触器也称电磁开关，它是通过电磁机构的动作频繁接通和断开电路供电的装置。按照其电源类型的不同接触器可分为交流接触器和直流接触器两种。本节以交流接触器为主，为大家讲解接触器的控制关系。

4.3.1　交流接触器的控制关系



交流接触器是一种主要用于远距离接通与分断交流供电电路的器件，如图4-14所示。交流接触器的内部主要由主触点、辅助触点、线圈、静铁心、动铁心及接线端等构成。在交流接触器的铁心上上装有一个短路环，主要用于减小交流接触器吸合时所产生的振动和噪声。

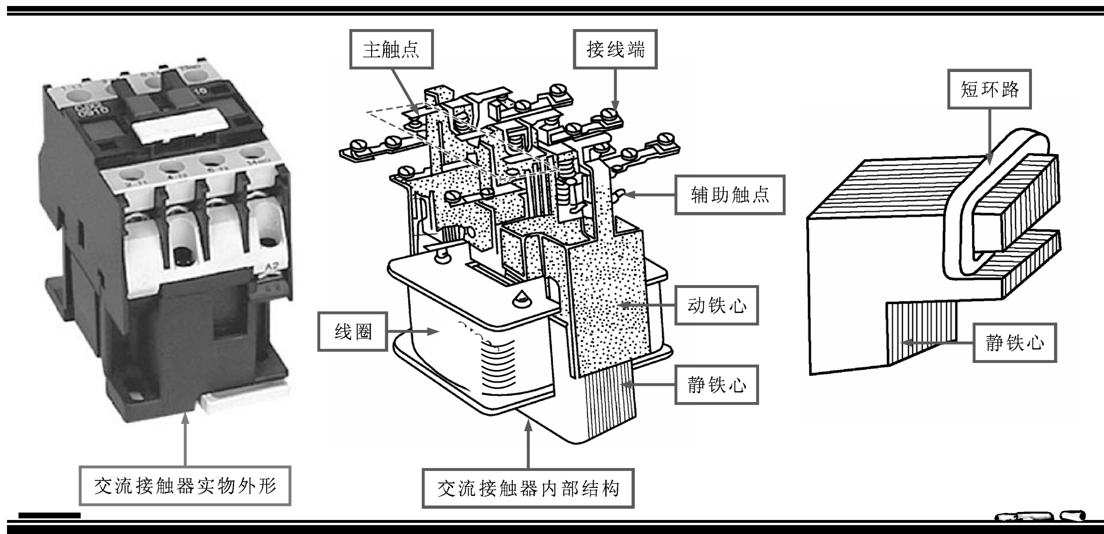


图4-14　典型交流接触器的实物外形及内部结构

交流接触器是通过线圈得电，来控制常开触点闭合、常闭触点断开的。当线圈失电时，控制常开触点复位断开，常闭触点复位闭合。

图 4-15 所示为交流接触器的连接关系。从图中可看出该交流接触器 KM 的线圈连接在不闭

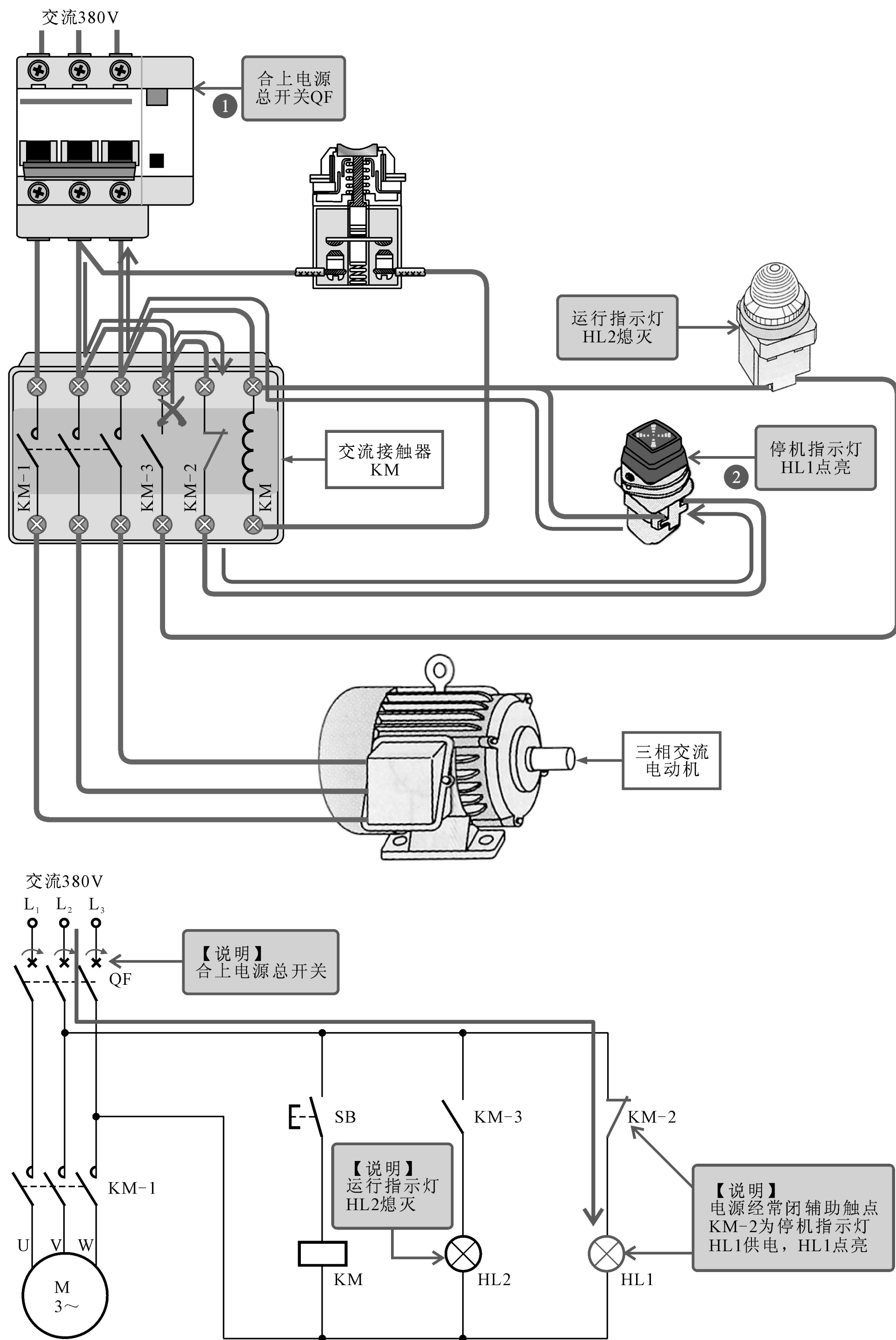


图 4-15　交流接触器的连接关系



锁的常开按钮 SB（起动按钮）与电源总开关 QF（总断路器）之间。常开主触点 KM-1 连接在电源总开关 QF 与三相交流电动机之间，用于控制电动机的起动与停机。常闭辅助触点 KM-2 连接在电源总开关 QF 与停机指示灯 HL1 之间，用于控制指示灯 HL1 的点亮与熄灭。常开辅助触点 KM-3 连接在电源总开关 QF 与运行指示灯 HL2 之间，用于控制指示灯 HL2 的点亮与熄灭。合上电源总开关 QF，电源经交流接触器 KM 的常闭辅助触点 KM-2 为停机指示灯 HL1 供电，HL1 点亮。

图 4-16 所示为电路接通时交流接触器的控制关系。按下起动按钮 SB 时，电路接通，交流接触器 KM 线圈得电，常开主触点 KM-1 闭合，三相交流电动机接通三相电源起动运转；常闭辅助触点 KM-2 断开，切断停机指示灯 HL1 的供电电源，HL1 熄灭；常开辅助触点 KM-3 闭合，运行指示灯 HL2 点亮，指示三相交流电动机处于工作状态。

图 4-17 所示为电路断开时交流接触器的控制关系。松开起动按钮 SB 时，电路断开，交流接触器 KM 线圈失电，常开主触点 KM-1 复位断开，切断三相交流电动机的供电电源，电动机停止运转；常闭辅助触点 KM-2 复位闭合，停机指示灯 HL1 点亮，指示三相交流电动机处于停机状态；常开主触点 KM-3 复位断开，切断运行指示灯 HL2 的供电电源，HL2 熄灭。

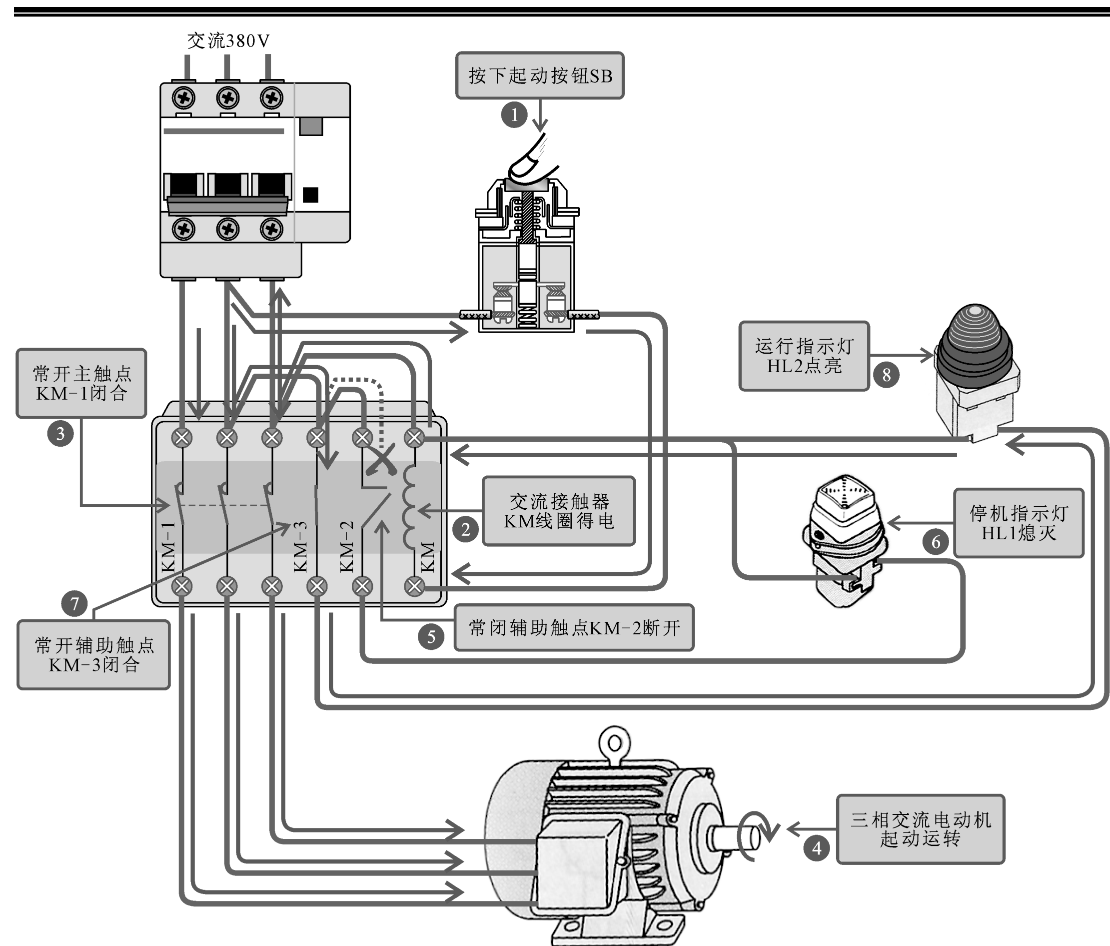


图 4-16　电路接通时交流接触器的控制关系

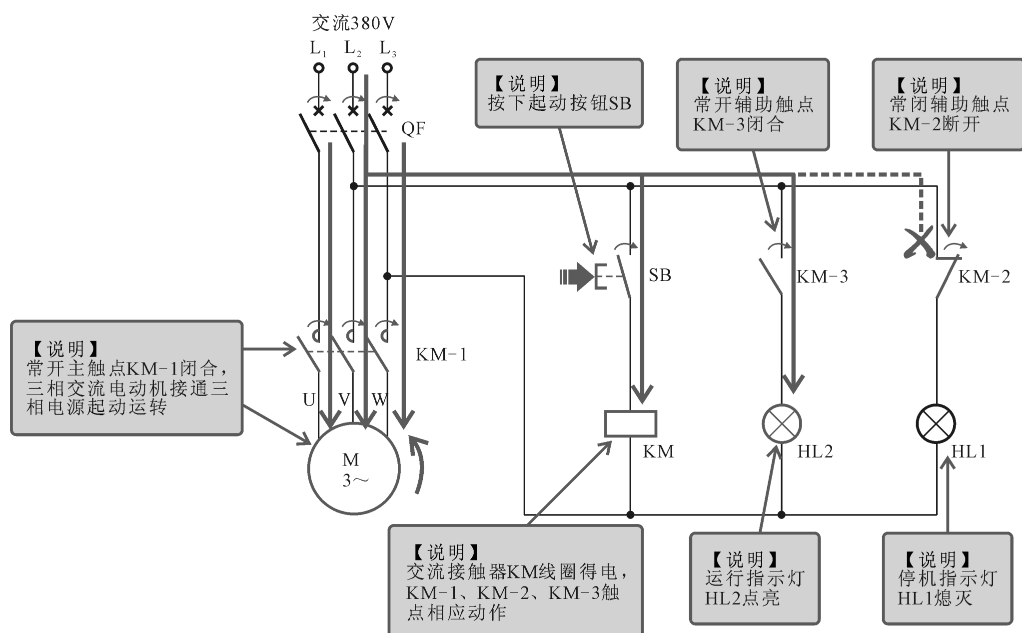


图 4-16　电路接通时交流接触器的控制关系（续）

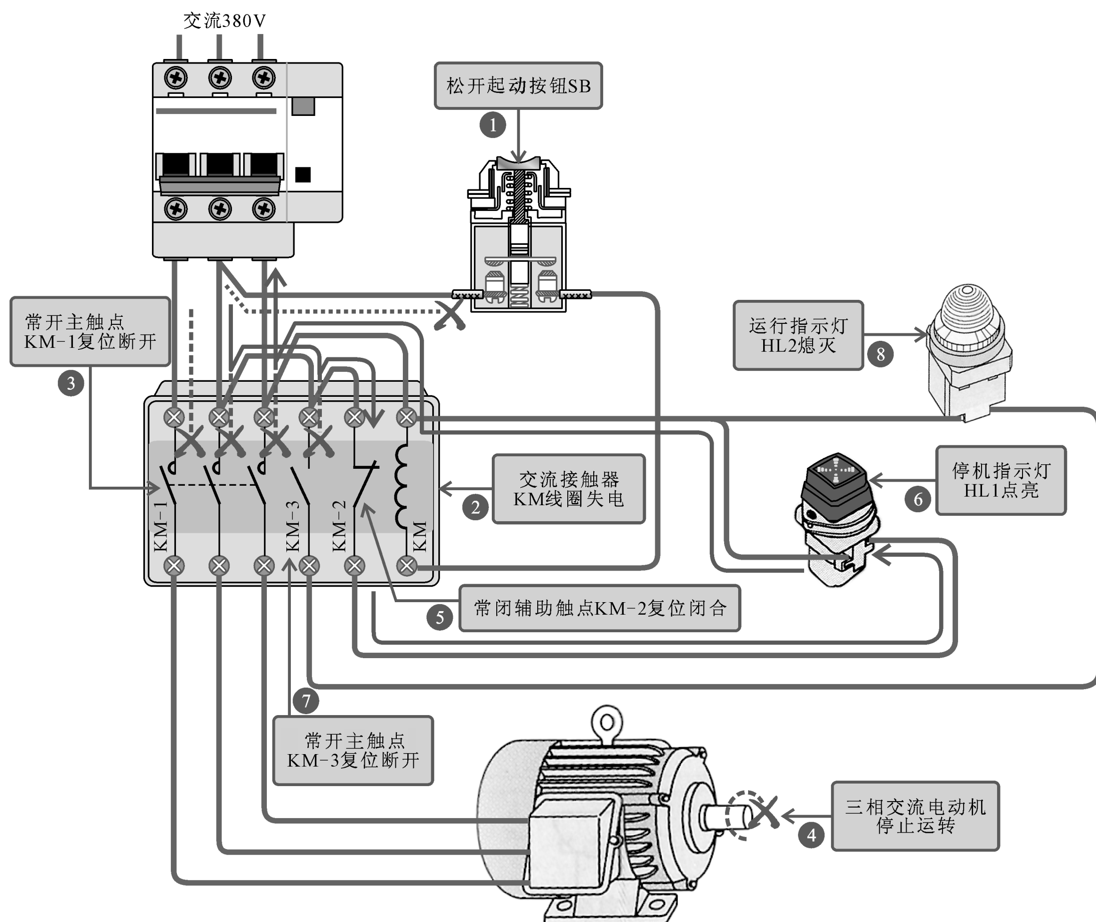


图 4-17　电路断开时交流接触器的控制关系



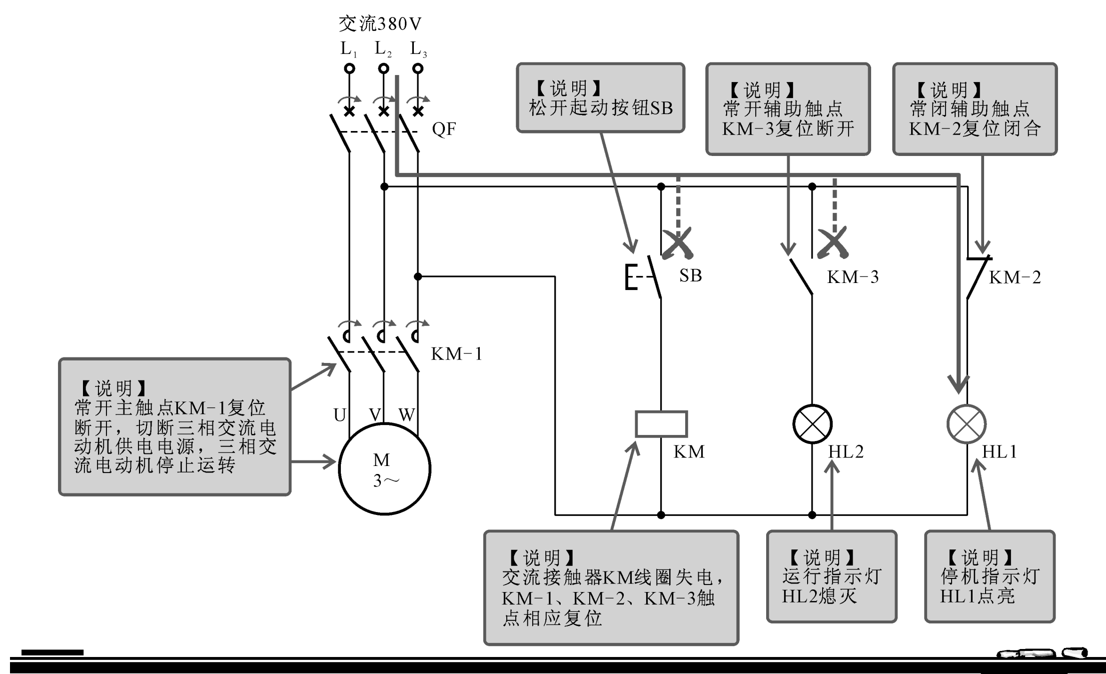


图 4-17　电路断开时交流接触器的控制关系（续）

4.3.2　直流接触器的控制关系



直流接触器是一种用于远距离接通与分断直流供电电路的器件，主要由灭弧罩、静触点、动触点、吸引线圈、复位弹簧等部分组成，如图 4-18 所示。

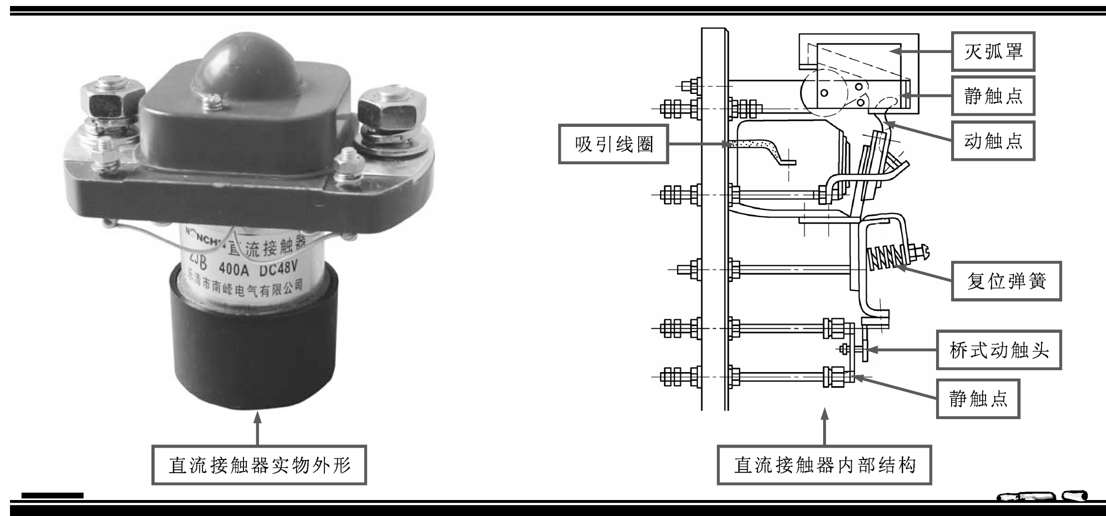


图 4-18　典型直流接触器的实物外形及内部结构

直流接触器和交流接触器的结构虽有不同，但其控制方式基本相同，都是通过线圈得电，控制常开触点闭合，常闭触点断开。当线圈失电时，控制常开触点复位断开，常闭触点复位闭合。分析时可参照交流接触器的控制关系进行，在此不再赘述。

4.4 传感器的控制关系





传感器是用于检测信号和变换信号的器件。它可以将各种环境参量（如温度、湿度、光线、磁场、气体、声音等）转换成电信号，广泛应用于工业自动化、环境监测、医疗卫生等领域中。本节从温度传感器、湿度传感器、光电传感器、磁电传感器、气敏传感器及振动传感器这 6 个方面讲解传感器的控制关系。

4.4.1 温度传感器的控制关系



温度传感器是一种将温度信号转换为电信号的器件，而检测温度的关键器件为热敏元件，因此温度传感器又称热-电传感器，主要用于各种需要对温度进行测量、监视控制及补偿等场合。

图 4-19 所示为温度传感器的连接关系。从图中可看出该温度传感器采用的是热敏电阻器作为感温器件，它是利用热敏电阻器的电阻值随温度变化而变化这一特性来测量温度变化的。

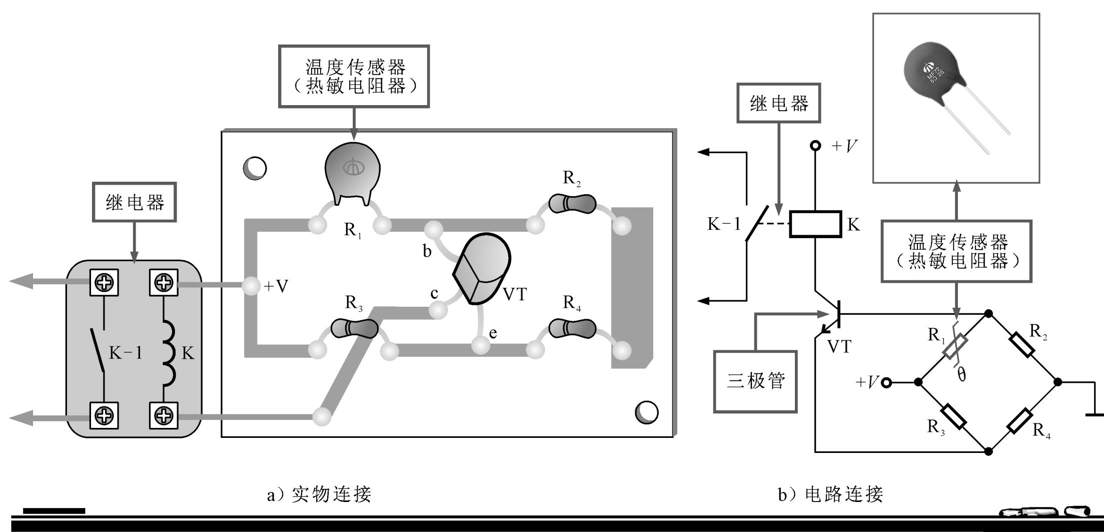


图 4-19 温度传感器的连接关系

温度传感器根据其感应特性的不同，可分为 PTC 传感器和 NTC 传感器两类。其中，PTC 传感器为正温度系数传感器，即传感器的电阻值随温度的升高而增大，随温度的降低而减小；NTC 传感器为负温度系数传感器，即传感器的电阻值随温度的升高而减小，随温度的降低而增大。图 4-19 中采用的为 NTC 传感器，即负温度系数传感器。

图 4-20 所示为正常环境温度下温度传感器的控制关系。在正常环境温度下时，电桥的电阻值 $R_1/R_2=R_3/R_4$，电桥平衡，此时 A、B 两点间电位相等，输出端 A 与 B 间没有电流流过，三极管（即晶体管）VT 的基极 b 与发射极 e 间的电位差为零，三极管 VT 截止，继电器 K 线圈不能得电。

图 4-21 所示为环境温度升高时温度传感器的控制关系。当环境温度逐渐上升时，温度传感器 R_1 的电阻值不断减小，电桥失去平衡，此时 A 点电位逐渐升高，三极管 VT 的基极 b 电压逐渐增大，此时基极 b 电压高于发射极 e 电压，VT 导通，继电器 K 线圈得电，常开触点 K-1 闭合，接通负载设备的供电电源，负载设备即可起动工作。



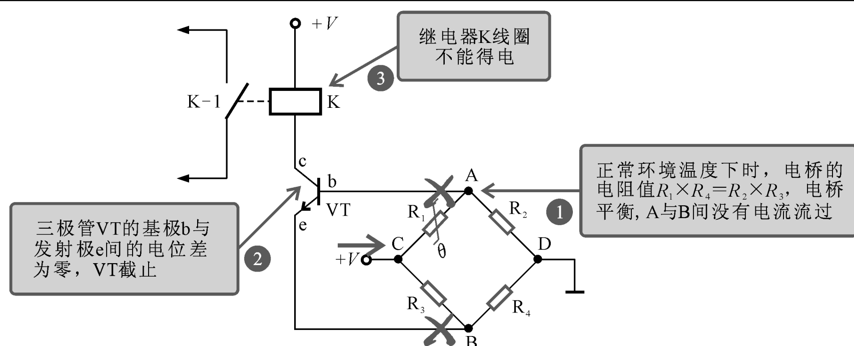


图 4-20　正常环境温度下温度传感器的控制关系

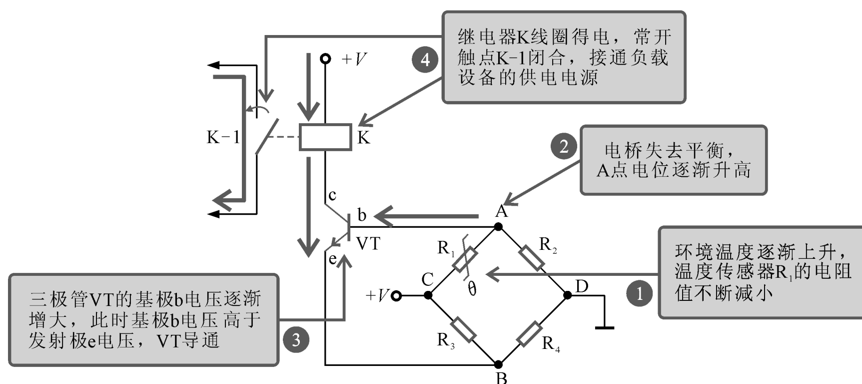


图 4-21　环境温度升高时温度传感器的控制关系

图 4-22 所示为环境温度降低时温度传感器的控制关系。当环境温度逐渐下降时，温度传感器 R_1 的电阻值不断增大，此时 A 点电位逐渐降低，三极管 VT 的基极 b 的电压逐渐减小，b 的电压低于发射极 e 的电压时，VT 截止，继电器 K 线圈失电，常开触点 K-1 复位断开，切断负载设备的供电电源，负载设备停止工作。

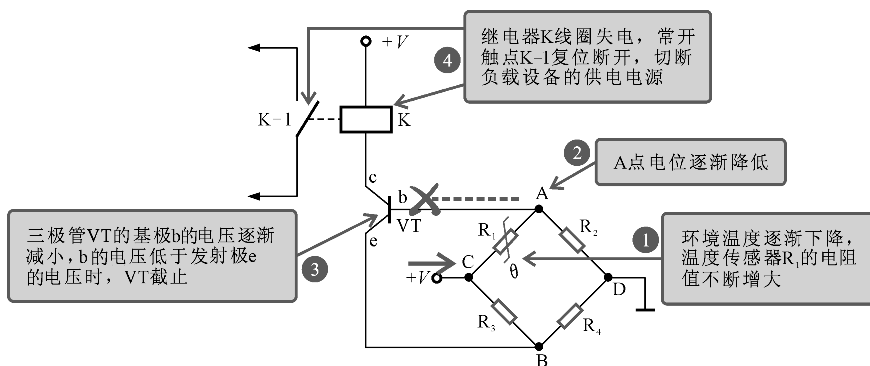


图 4-22　环境温度降低时温度传感器的控制关系

4.4.2 湿度传感器的控制关系



湿度传感器是一种将湿度信号转换为电信号的器件，主要用于工业生产、天气预报、食品加工等行业中，对各种湿度进行控制、测量和监视。

图4-23所示为湿度传感器的连接关系。从图中可看出该湿度传感器采用的是湿敏电阻器作为湿度测控器件，湿敏电阻器是利用电阻值随湿度变化而变化这一特性来测量湿度变化的。

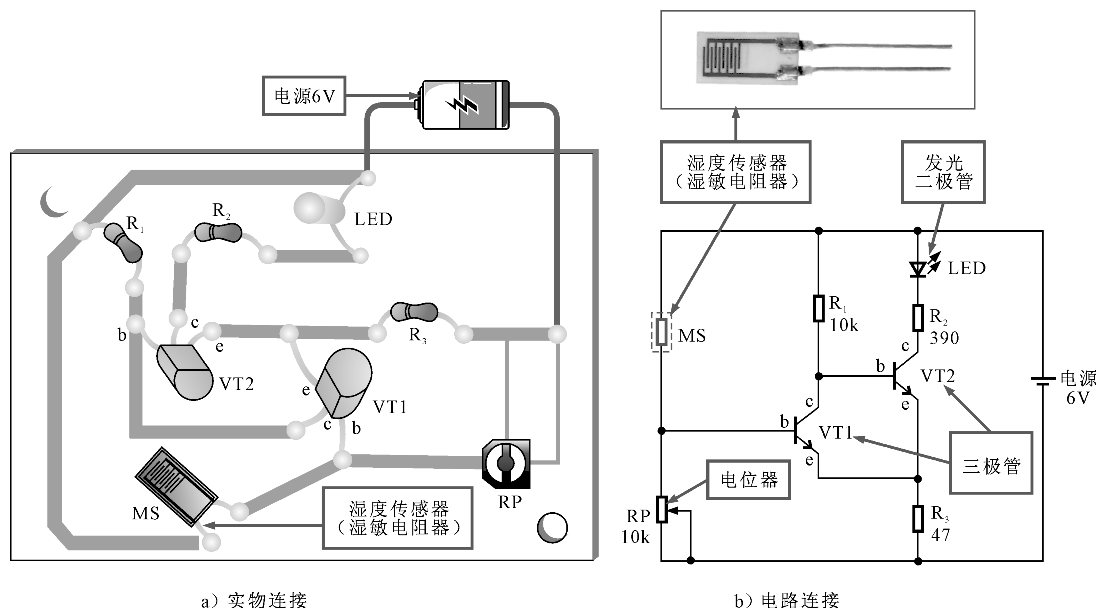


图4-23　湿度传感器的连接关系

图4-24所示为环境湿度较小时湿度传感器的控制关系。当环境湿度较小时，湿度传感器MS的电阻值较大，三极管VT1的基极b为低电平，使基极b的电压低于发射极e的电压，VT1截

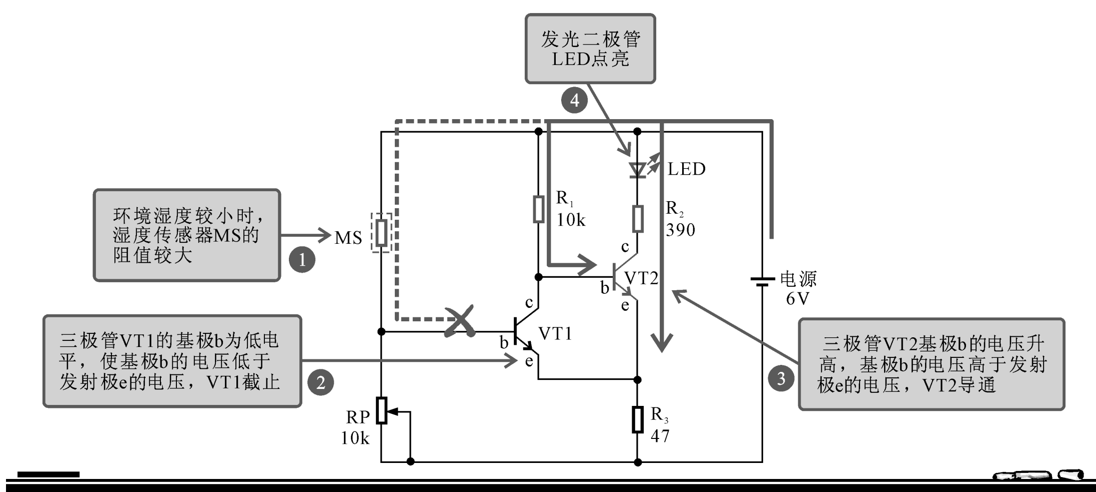


图4-24　环境湿度较小时湿度传感器的控制关系

止；此时三极管 VT2 基极 b 的电压升高——高于发射极 e 的电压，VT2 导通，发光二极管 LED 点亮。

图 4-25 所示为环境湿度增加时湿度传感器的控制关系。当环境湿度增加时，湿度传感器 MS 的电阻值逐渐变小，三极管 VT1 的基极 b 的电压逐渐升高，使基极 b 的电压高于发射极 e 的电压，VT1 导通；使三极管 VT2 基极 b 的电压降低，VT2 截止，发光二极管 LED 熄灭。

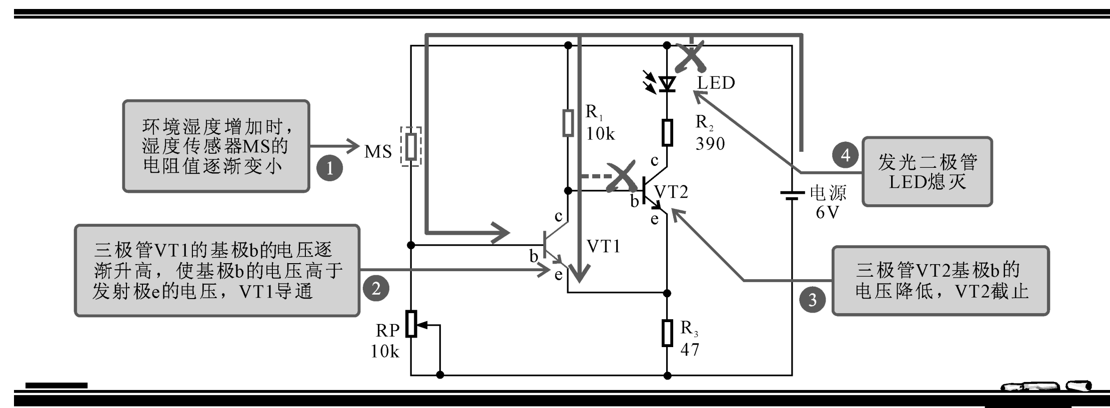


图 4-25 环境湿度增加时湿度传感器的控制关系

4.4.3 光电传感器的控制关系

光电传感器是一种能够将可见光信号转换为电信号的器件，也可称为光电器件，主要用于光控开关、光控照明、光控报警等领域中，对各种可见光进行控制。

图 4-26 所示为光电传感器的连接关系。从图中可看出该光电传感器采用的是光敏电阻器作为光电测控器件。光敏电阻器是一种对光敏感的器件，其电阻值随入射光线的强弱变化而变化。

图 4-27 所示为环境光较强时光电传感器的控制关系。当环境光较强时，光电传感器 MG 的阻值较小，使电位器 RP 与光电传感器 MG 处的分压值变低，不能达到双向触发二极管 VD 的触发电压值，双向触发二极管 VD 截止，进而使双向晶闸管 VS 也截止，照明灯 EL 熄灭。

图 4-28 所示为环境光较弱时光电传感器的控制关系。当环境光较弱时，光电传感器 MG 的阻值变大，使电位器 RP 与光电传感器 MG 处的分压值变高，随着光照强度的逐渐减弱，光电传感器 MG 的阻值逐渐变大，当电位器 RP 与光电传感器 MG 处的分压值达到双向触发二极管 VD 的触发电压时，双向二极管 VD 导通，进而触发双向晶闸管 VS 也导通，照明灯 EL 点亮。

4.4.4 磁电传感器的控制关系

磁电传感器是一种能够将磁感应信号转换为电信号的器件，常用于机械测试及自动化测量的领域中，对各种磁场的磁感应信号进行控制。

图 4-29 所示为磁电传感器的连接关系。从图中可看出该磁电传感器采用的是霍尔传感器作为磁场测控器件。霍尔传感器是一种特殊的半导体器件，能够直接感知外界变化的磁场，并将其转换为电信号。

EL
照明灯
光电传感器
（光敏电阻器）
RP
交流
220V
L
N
T_1 T_2 G
VS
VD
MG
R_1
C_2
C_1
输入接线板

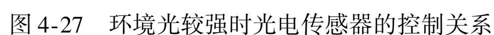
a）实物连接

L
照明灯
EL
双向触发
二极管
RP
R_1
交流
220V
T_2
VS
G
T_1
VD
双向
三极
晶闸管
C_2
MG
光电传感器
（光敏电阻器）
C_1
N

b）电路连接


图 4-26　光电传感器的连接关系

L
照明灯EL
熄灭
EL
⑤
RP
R_1
交流
220V
T_2
VS
G
T_1
VD
分压值变低
②
双向三极晶
闸管VS截止
④
C_2
MG
C_1
N
③
分压值不能达到双向
触发二极管VD的触发
电压，VD截止
①
环境光较强时，光电传
感器MG的电阻值较小


图 4-27　环境光较强时光电传感器的控制关系



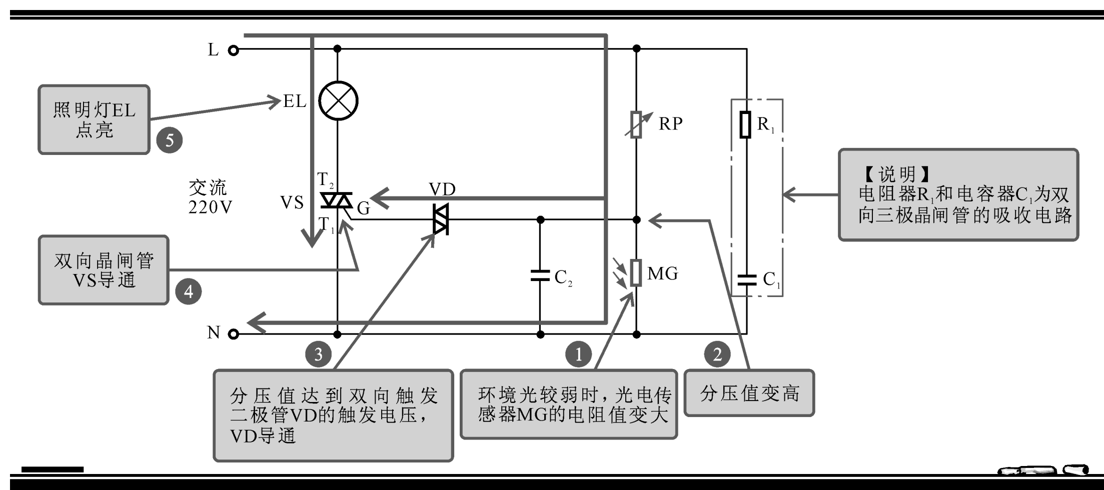


图4-28　环境光较弱时光电传感器的控制关系

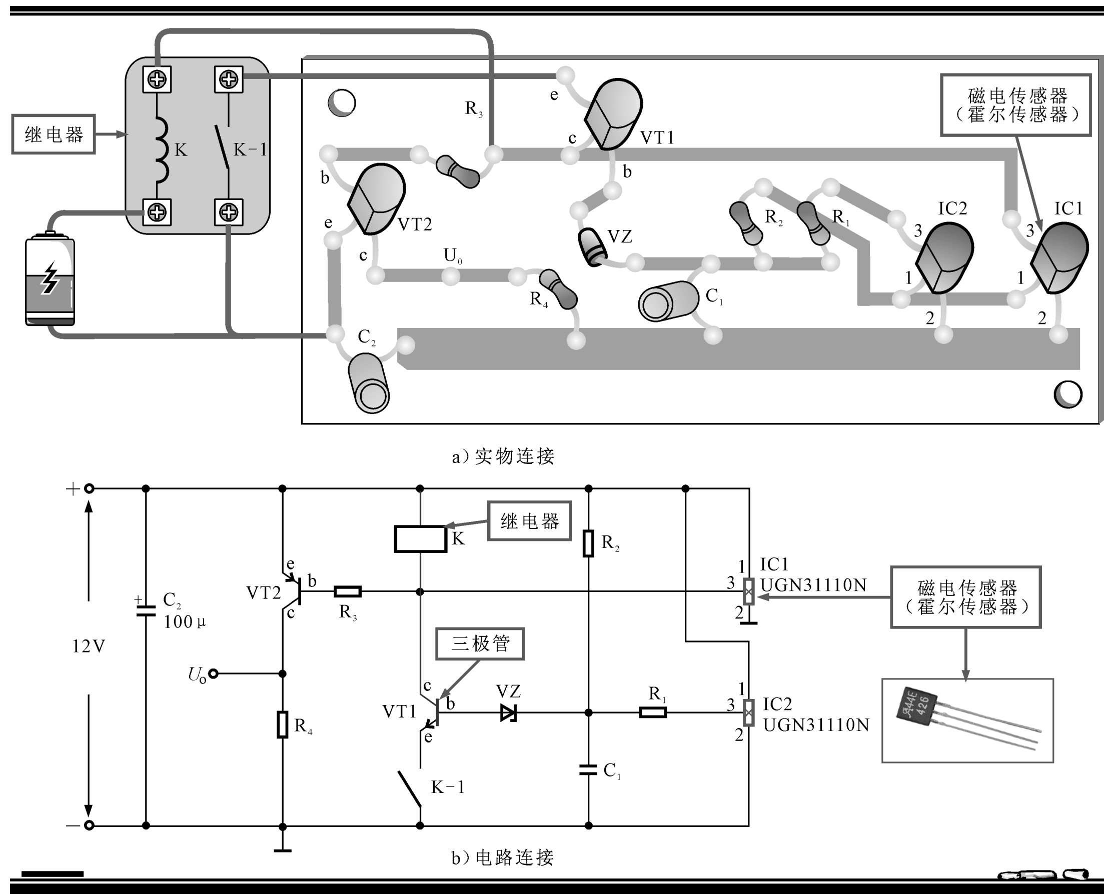


图4-29　磁电传感器的连接关系

图4-30所示为无磁铁靠近时磁电传感器的控制关系。无磁铁靠近时，磁电传感器IC1、IC2的③脚输出高电平，继电器K线圈不能得电，常开触点K-1处于断开状态，使三极管VT1截止；同时三极管VT2也截止，U_o端输出低电平。

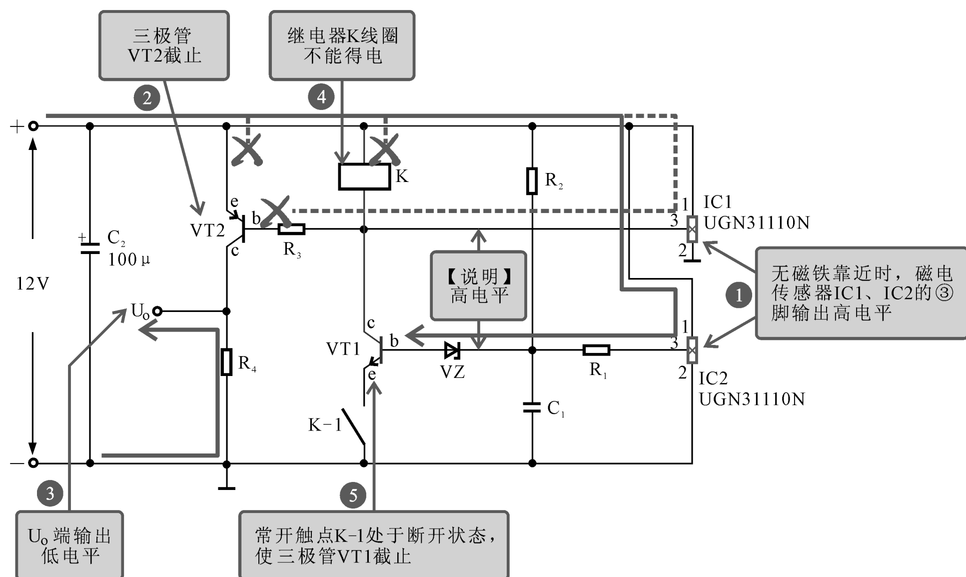


图 4-30　无磁铁靠近时磁电传感器的控制关系

图 4-31 所示为磁铁靠近磁电传感器 IC1 时的控制关系。当磁铁靠近磁电传感器 IC1 时，磁电传感器 IC1 的③脚输出低电平，经电阻器 R_3 加到三极管 VT2 的基极 b，此时基极 b 的电压低于发射极 e 的电压，VT2 导通，U_o 端输出高电平；同时，继电器 K 的线圈两端产生压降，继电器 K 的线圈得电，常开触点 K-1 闭合，VT1 的发射极 e 接地，基极 b 的电压为高电平，高于发射极 e 的电压，VT1 导通，即使磁铁离开磁电传感器 IC1，仍能保持 VT2 的导通。

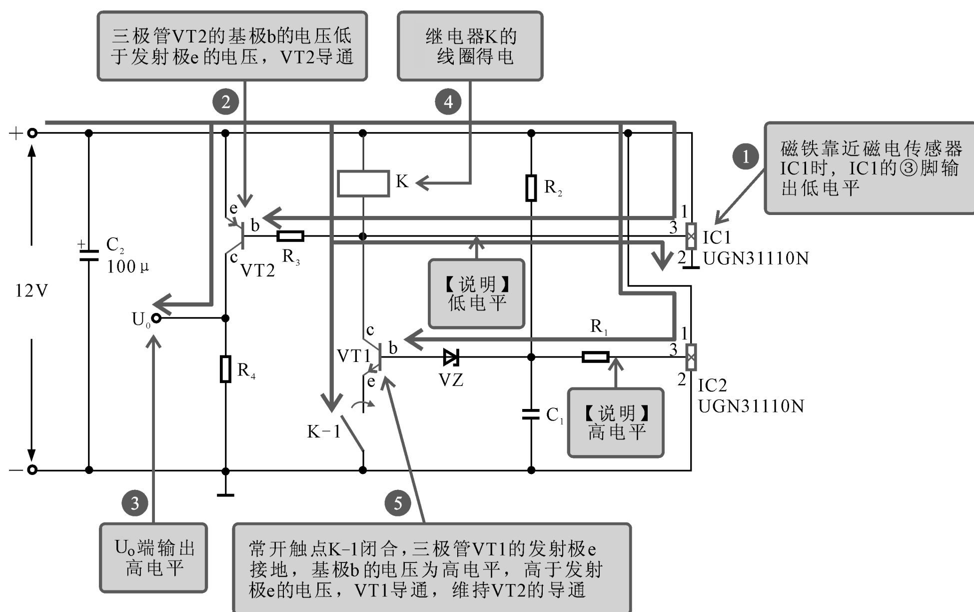


图 4-31　磁铁靠近磁电传感器 IC1 时的控制关系



图 4-32 所示为磁铁离开磁电传感器 IC1 靠近 IC2 时的控制关系。当磁铁离开磁电传感器 IC1 靠近 IC2 时，磁电传感器 IC1 的③脚输出高电平，IC2 的③脚输出低电平，稳压二极管将三极管 VT1 的基极钳位在低电平，进而使 VT1 截止，继电器 K 的线圈失电，常开触点 K-1 复位断开。此时三极管 VT2 的基极 b 变为高电平，VT2 截止，U_o 端输出低电平。

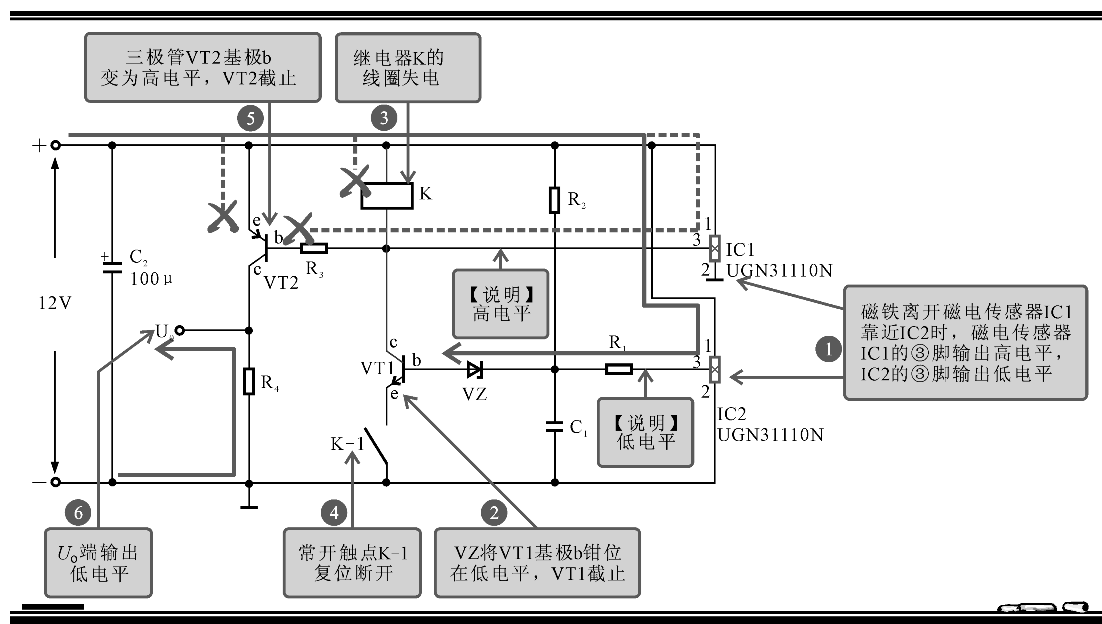


图 4-32　磁铁离开磁电传感器 IC1 靠近 IC2 时的控制关系

4.4.5　气敏传感器的控制关系



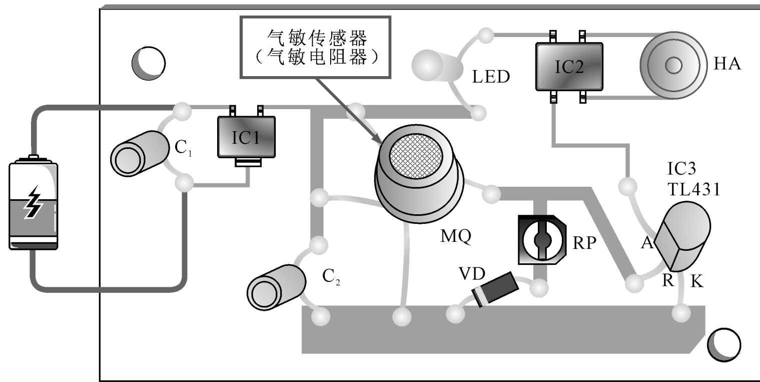
气敏传感器（又称气体传感器）是一种将气体信号转换为电信号的器件。它可检测出环境中某种气体及浓度，并将其转换成不同的电信号。该传感器主要用于可燃或有毒气体泄露的报警电路中。

图 4-33 所示为气敏传感器的连接关系。从图中可看出该气体传感器采用的是气敏电阻器作为气体检测器件。它是利用气敏电阻器的电阻值随气体浓度变化而变化这一特性来进行气体测量的。

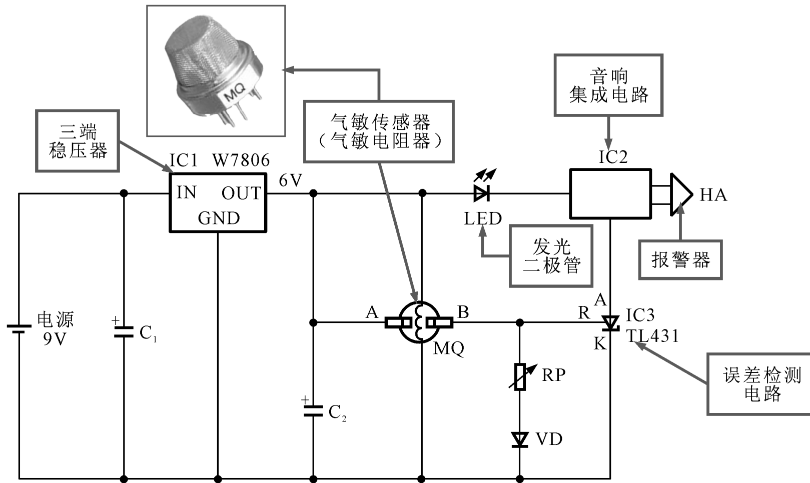
图 4-34 所示为空气中气敏传感器的控制关系。电路开始工作时，9V 直流电源经滤波电容器 C_1 滤波后，由三端稳压器稳压输出 6 V 直流电压，再经滤波电容器 C_2 滤波后，为气体检测控制电路提供工作条件。

在空气中，气敏传感器 MQ 的电阻值较大，其 B 端为低电平，误差检测电路 IC3 的控制极 R 的电压较低，IC3 不能导通，发光二极管 LED 不能点亮，报警器 HA 无报警声。

图 4-35 所示为有害气体泄漏时气敏传感器的控制关系。当有害气体泄漏时，气敏传感器 MQ 的电阻值逐渐变小，其 B 端电压逐渐升高，当 B 端电压升高到预设的电压值时（可通过电位器 RP 进行调节），误差检测电路 IC3 导通，接通音响集成电路 IC2 的接地端，IC2 工作，发光二极管 LED 点亮，报警器 HA 发出报警声。



a）实物连接



b）电路连接

图 4-33　气敏传感器的连接关系

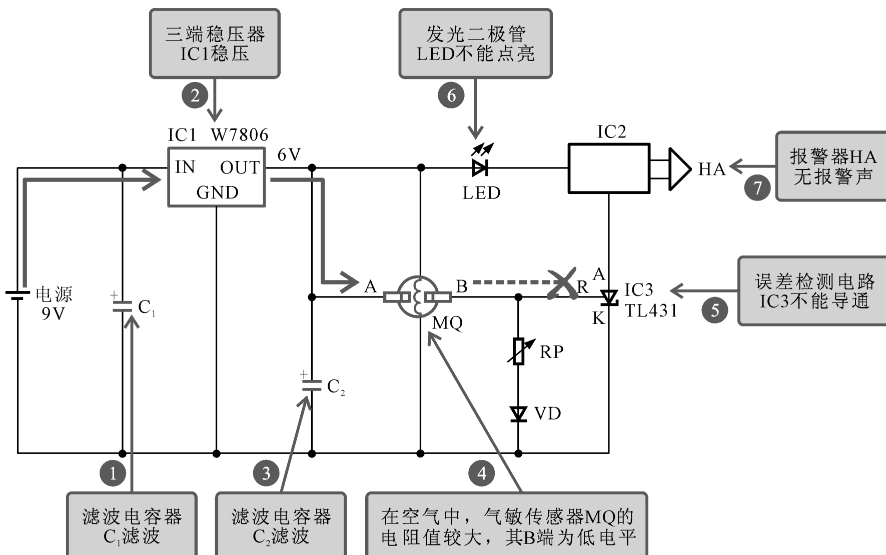


图 4-34　空气中气敏传感器的控制关系

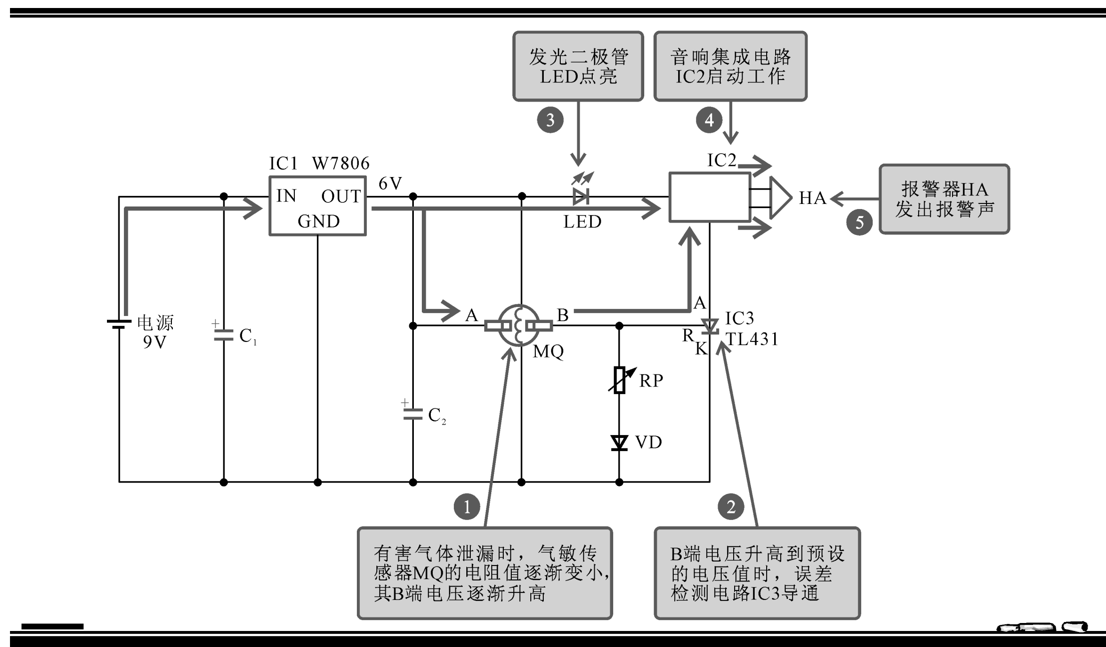


图4-35 有害气体泄漏时气敏传感器的控制关系

4.4.6 振动传感器的控制关系

振动传感器是一种将撞击某种物体产生的振动波信号转换为电信号的器件，该传感器主要用于防盗报警电路中。

图4-36所示为振动传感器的连接关系。从图中可看出该振动传感器采用XDZ-01型振动传感器作为检测振动波信号的器件，它能够直接感知外界的振动波信号并将其转换为电信号，对报警电路进行控制。

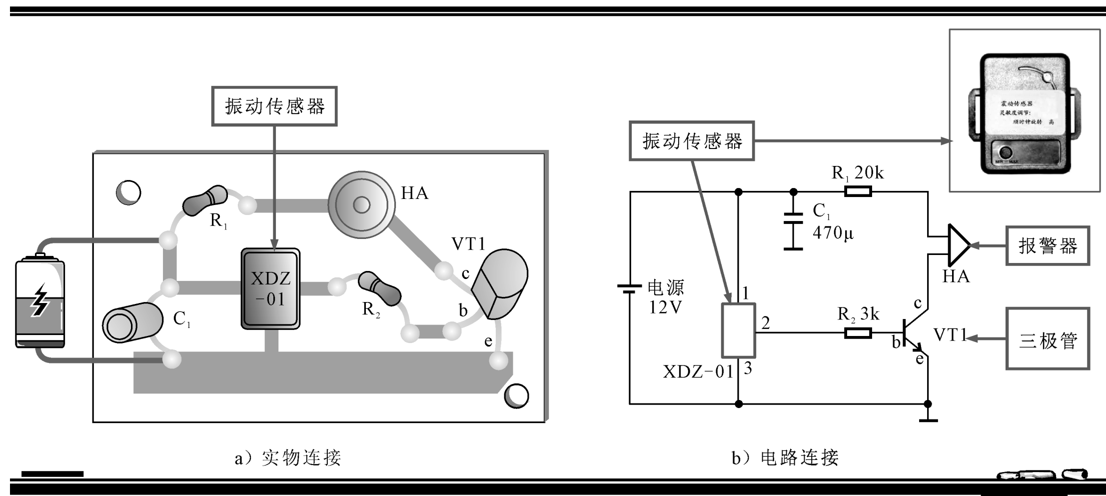


图4-36 振动传感器的连接关系

图4-37所示为无振动时振动传感器的控制关系。无振动时，振动传感器XDZ-01的②脚输出低电平，三极管VT1截止，报警器HA无报警声。

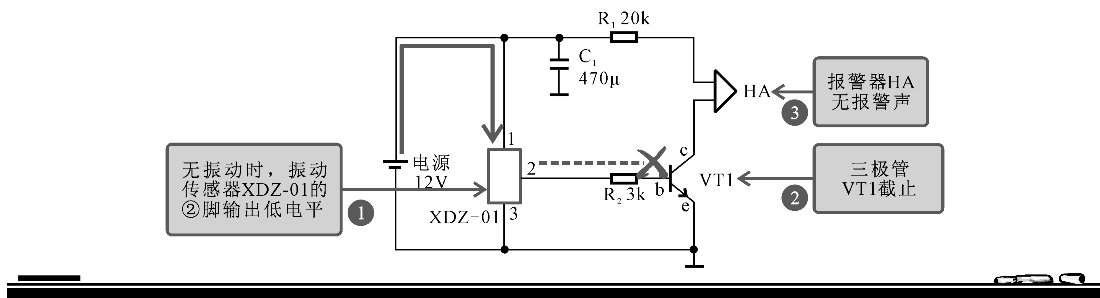


图 4-37　无振动时振动传感器的控制关系

图 4-38 所示为振动时振动传感器的控制关系。当振动时，振动传感器 XDZ-01 的②脚输出高电平，经电阻器 R2 加到三极管 VT1 的基极 b，此时基极 b 的电压高于发射极 e 的电压，VT1 导通，报警器 HA 发出报警提示声。

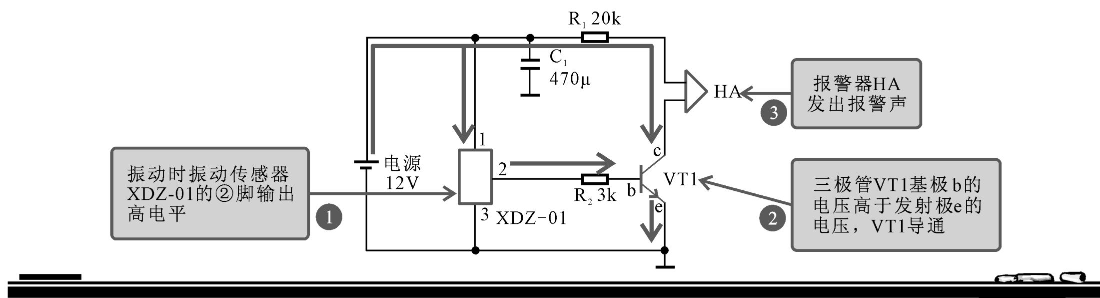


图 4-38　振动时振动传感器的控制关系



【注意】

报警一段时间后，电路再次恢复到待机状态。

4.5　保护器的控制关系





保护器是一种保护电路的器件，只允许安全限制内的电流通过，当电路中的电流量超过保护器的额定电流时，保护器会自动切断电路，对电路中的负载设备进行保护。本节从熔断器、漏电保护器、温度继电器、过热保护继电器和避雷器这五个方面讲解保护器的控制关系。

4.5.1　熔断器的控制关系



熔断器在电路中的作用是检测电流通过的量，当电路中的电流超过熔断器规定值一段时间时，熔断器会以自身产生的热量使熔体熔化，从而使电路断开，起到保护电路的作用。

图 4-39 所示为熔断器的连接关系。从图中可看出熔断器串联在被保护电路中，当电路出现过载或短路故障时，熔断器熔断切断电路进行保护。



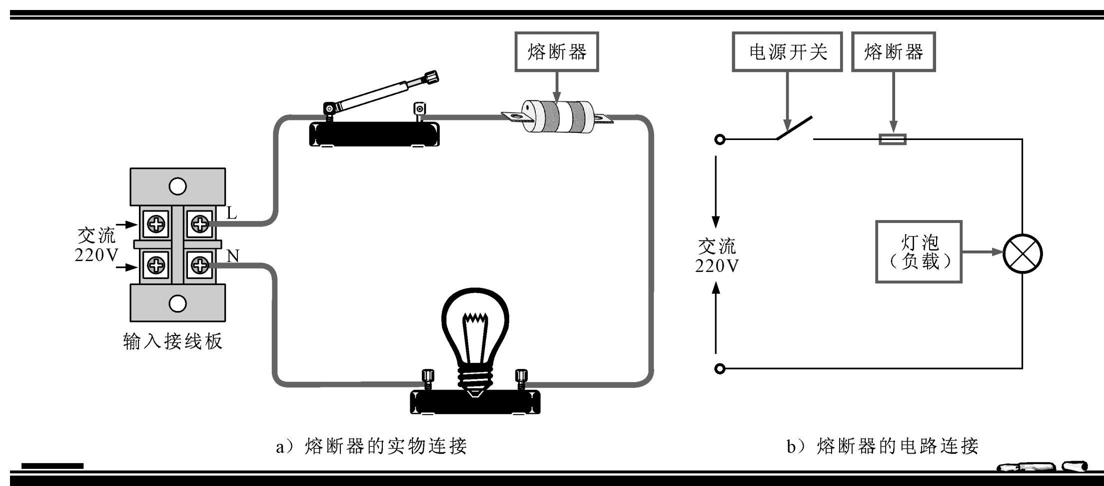


图 4-39　熔断器的连接关系

图 4-40 所示为熔断器的控制关系。闭合电源开关，接通灯泡电源，灯泡点亮，电路正常工作。当灯泡之间由于某种原因而被导体连在一起时，电源被短路，电流由短路的捷径通过，不再

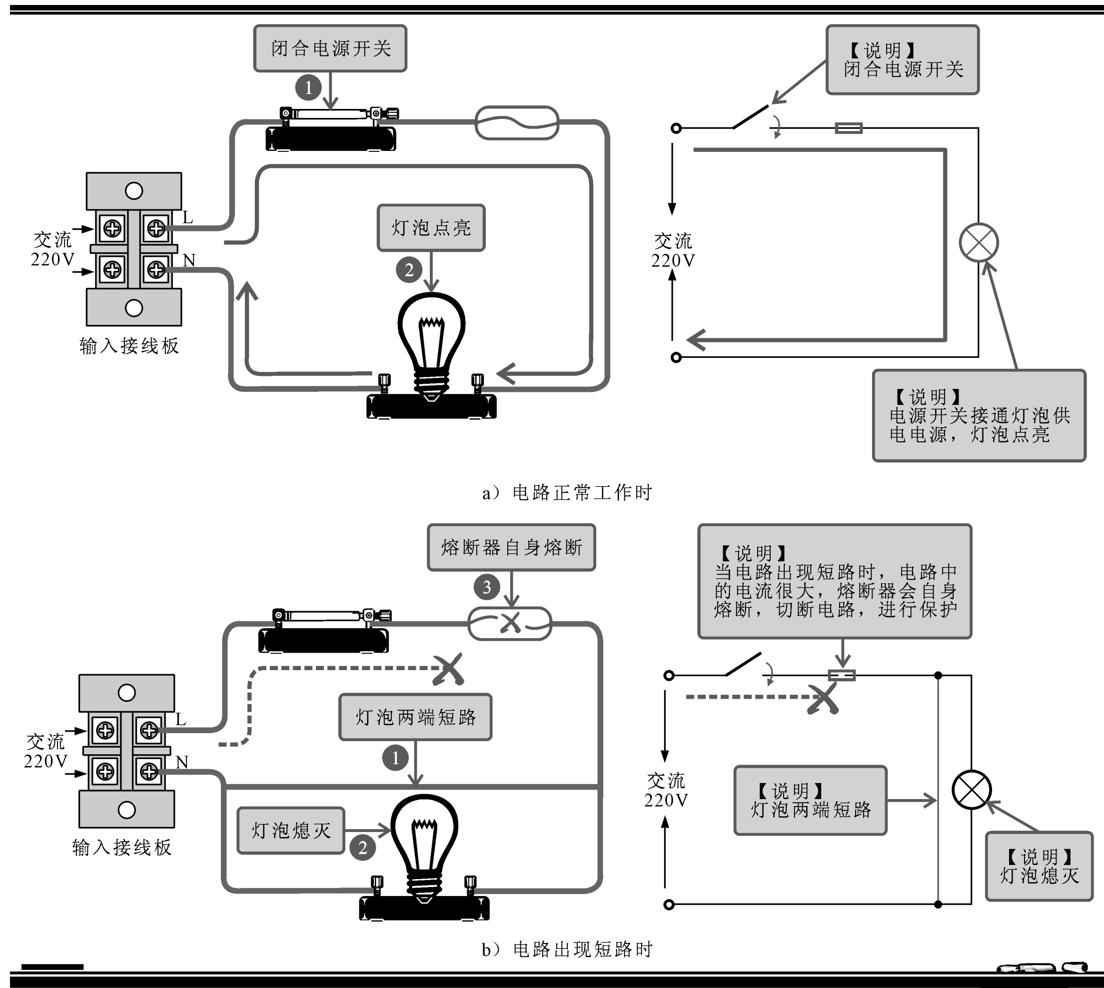


图 4-40　熔断器的控制关系

流过灯泡，此时回路中仅有很小的电源内阻，使电路中的电流很大，流过熔断器的电流也很大，这时熔断器会自身熔断，切断电路，进行保护。

4.5.2 漏电保护器的控制关系



漏电保护器是一种具有漏电、触电、过载、短路保护功能的保护器件，对于防止触电伤亡事故以及避免因漏电电流而引起的火灾事故具有明显的保护效果。

图 4-41 所示为漏电保护器的连接关系。从图中可看出相线 L 和零线 N 经过带有漏电保护器的断路器的支路。当电路出现漏电、触电、过载、短路故障时，通过漏电保护器切断电路进行电路及人身安全的保护。

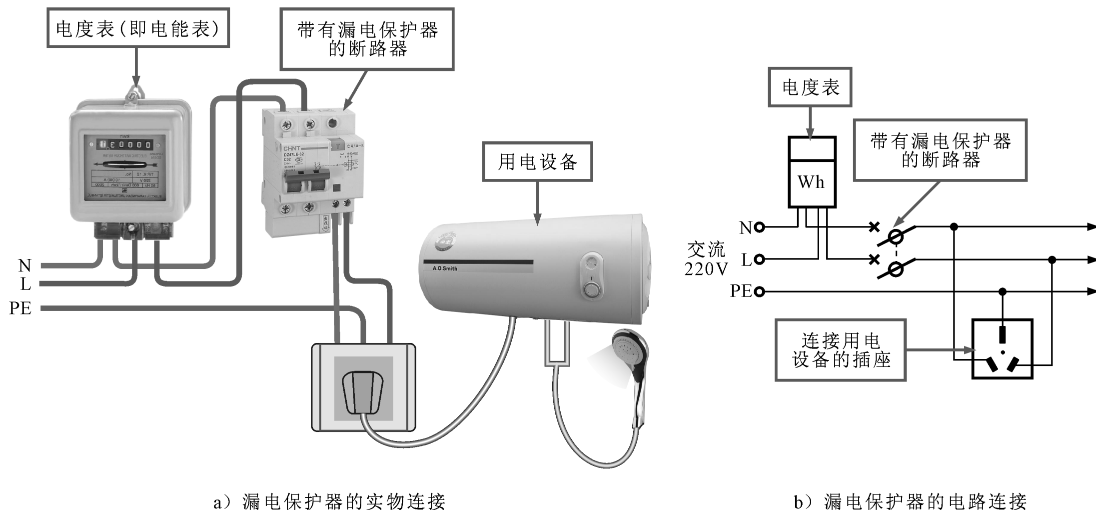


图 4-41 漏电保护器的连接关系

漏电检测原理如图 4-42 所示。当被保护电路发生漏电或有人触电时，由于漏电电流的存在，

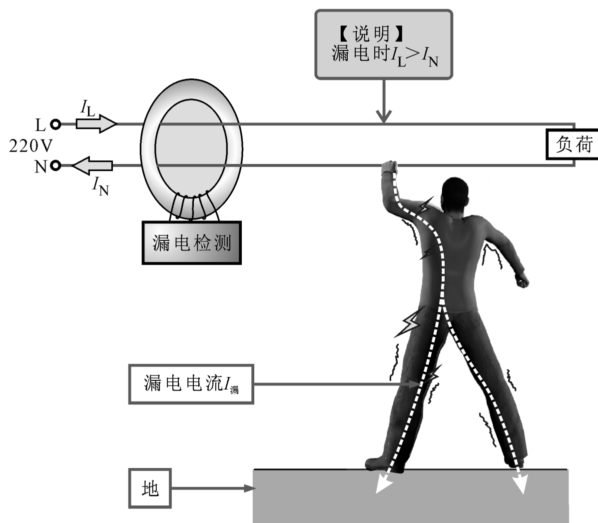


图 4-42 漏电检测原理

使供电电流大于返回电流。

图4-43所示为漏电保护器的控制关系。单相交流电经过电度表及漏电保护器后为用电设备进行供电，正常时相线端L的电流与零线端N的电流相等，回路中剩余电流量几乎为零。当发生漏电或触电情况时，相线L的一部分电流流过触电人身体到地，而出现相线端L的电流大于零线端N的电流，回路中产生剩余的电流量，漏电保护器感应出剩余的电流量，切断电路进行保护。

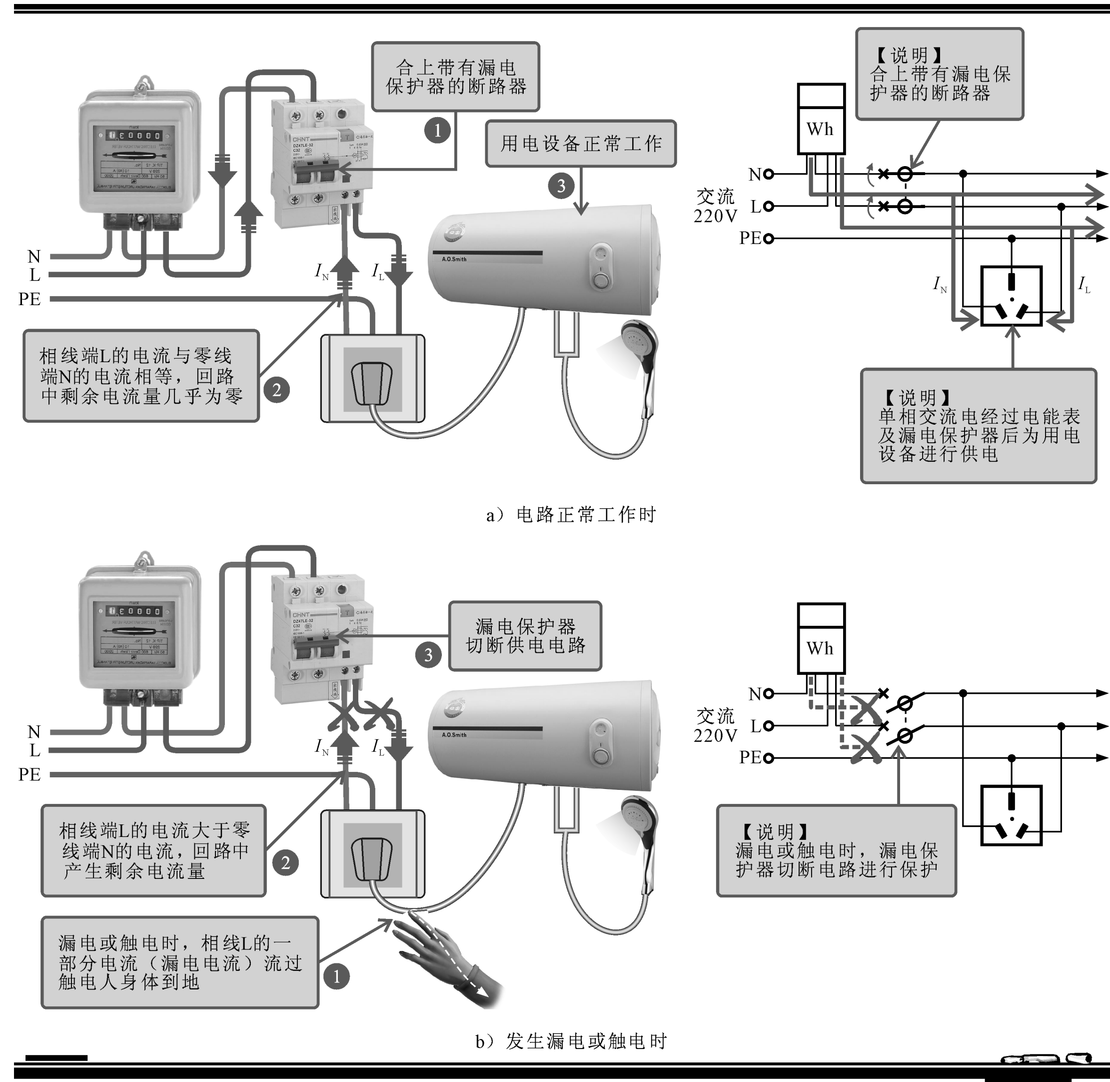


图4-43　漏电保护器的控制关系

4.5.3　温度继电器的控制关系



温度继电器主要由电阻加热丝，碟形双金属片，一对动、静触头和两个接端子组成，如图4-44所示。

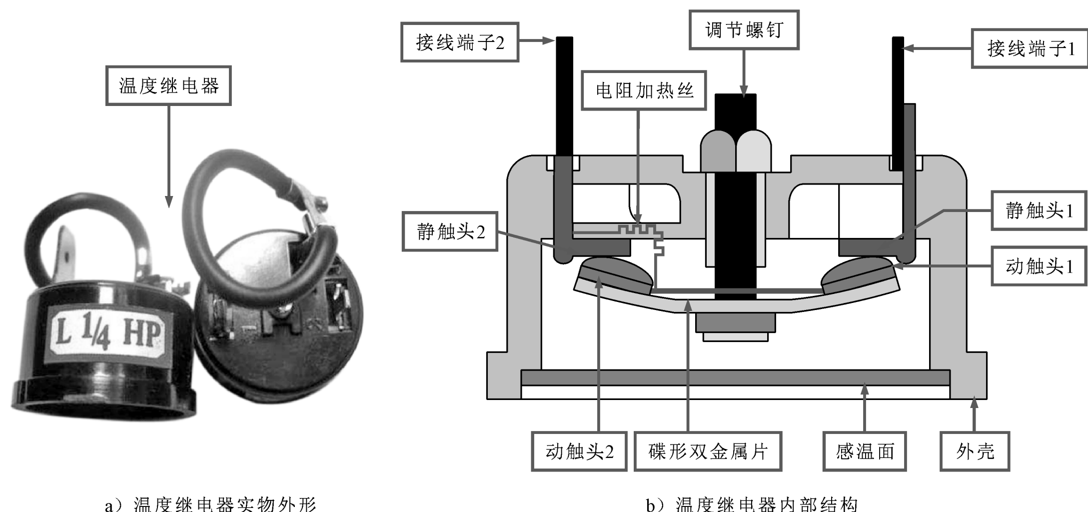


图 4-44　温度继电器的外形及内部结构

温度继电器是一种用于防止负载设备因温度过高或过电流而烧坏的保护器件，其感温面紧贴在负载设备的外壳上，接线端子与供电电路串联一起，图 4-45 所示为温度继电器的连接关系。

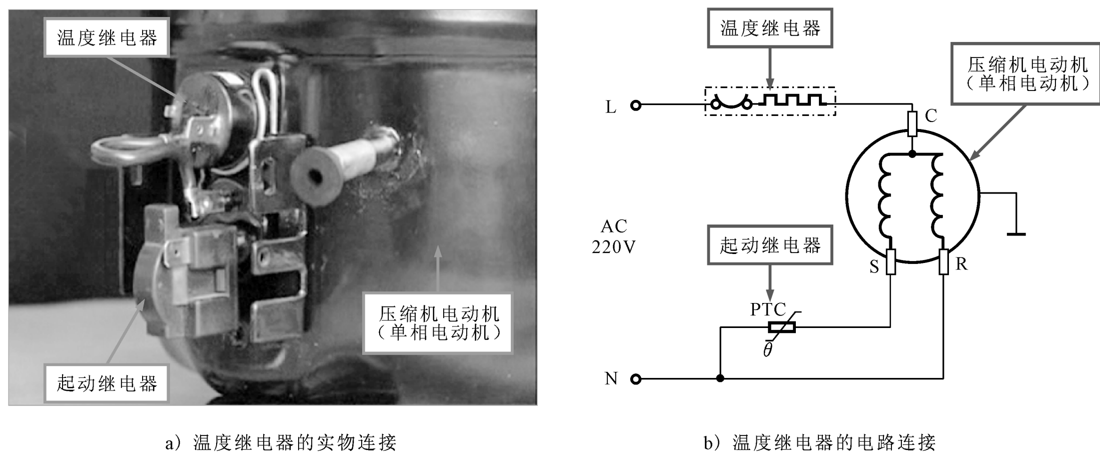


图 4-45　温度继电器的连接关系

当负载设备温度过高或流过的电流过大时，温度继电器断开，切断电路，进行设备及电路的保护。

图 4-46 所示为正常温度下温度继电器的控制关系。正常温度下，交流 220V 电源经温度继电器内部闭合的触点，接通压缩机电动机的供电，起动继电器起动压缩机电动机工作，待压缩机电动机转速升高到一定值时，起动继电器断开起动绕组，起动结束，压缩机电动机进入正常的运转状态。

图 4-47 所示为温度过高时温度继电器的控制关系。当压缩机电动机温度过高时，温度继电器的碟形双金属片受热反向弯曲变形，断开压缩机电动机的供电电源，起到保护作用。

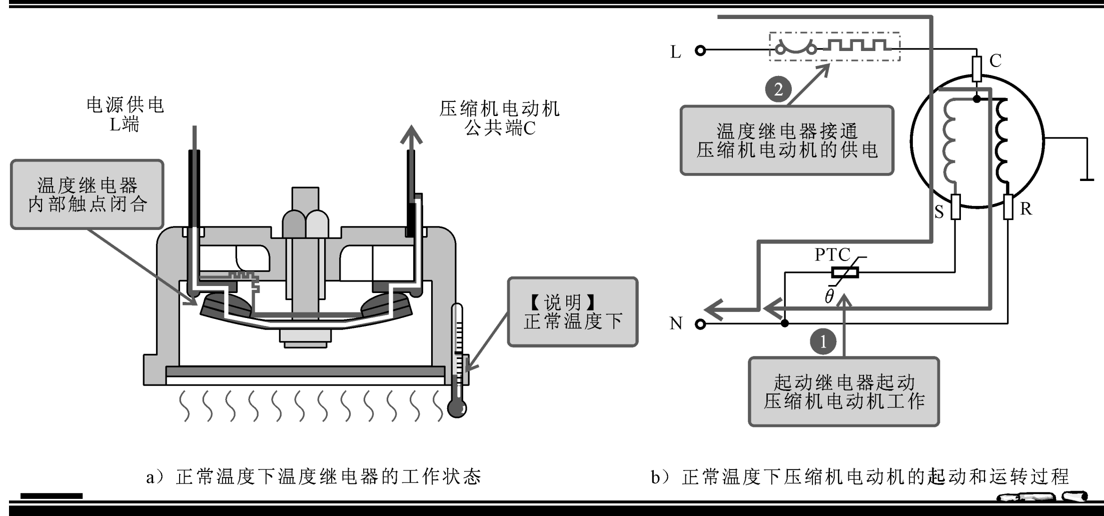


图4-46　正常温度下温度继电器的控制关系

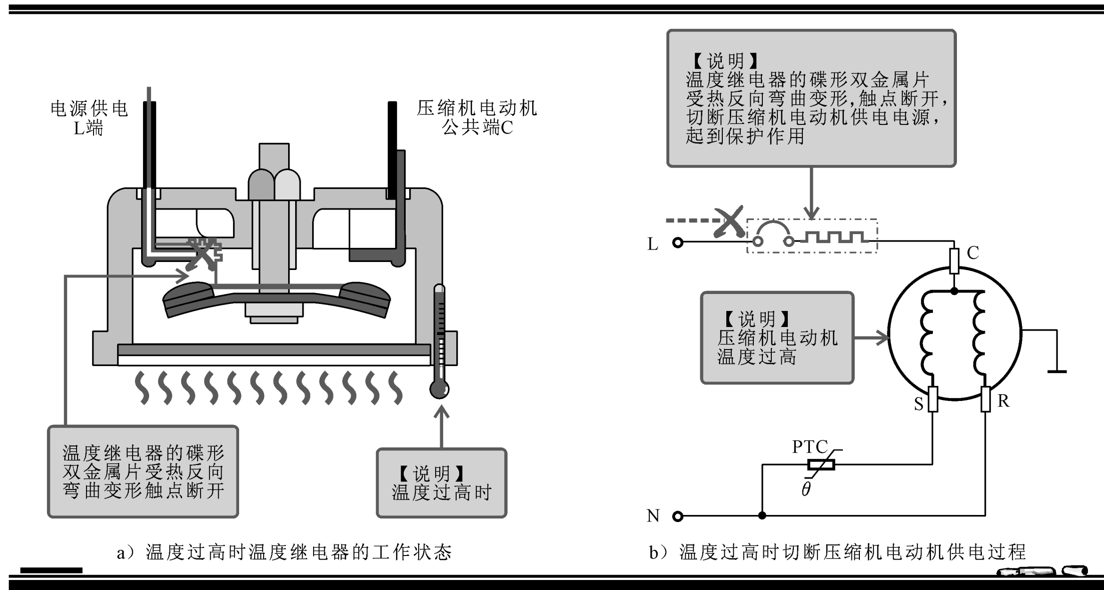


图4-47　温度过高时温度继电器的控制关系

【资料】

待压缩机电动机和温度继电器的温度逐渐冷却时，双金属片又恢复到原来的形态，触点再次接通，压缩机电动机再次起动运转。

4.5.4　过热保护继电器的控制关系

过热保护继电器是利用电流的热效应来推动动作机构使其内部触点闭合或断开的，主要用于电动机的过载保护、断相保护、电流不平衡保护以及热保护，主要由复位按钮、常闭触点、动作机构以及热元件等构成，如图4-48所示。

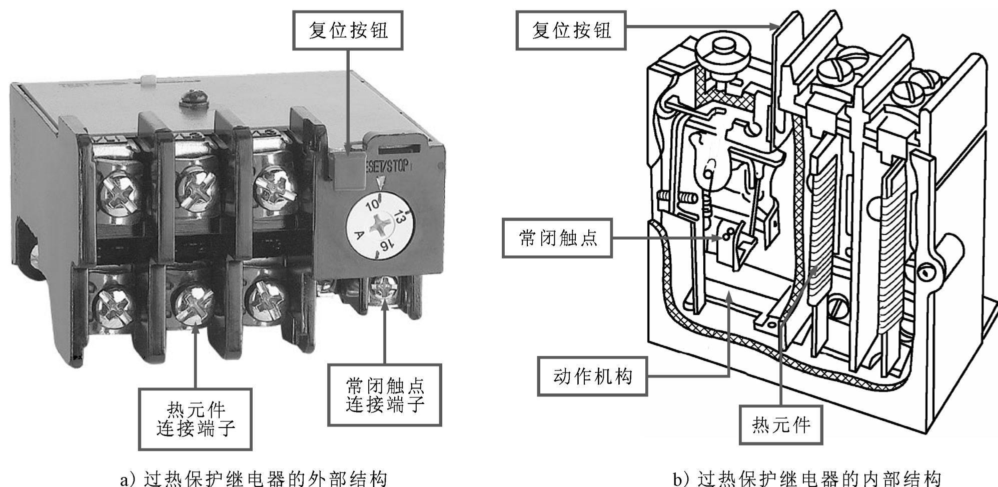


图 4-48　过热保护继电器的外形及内部结构

图 4-49 所示为过热保护继电器的连接关系。从图中可看出该过热保护继电器 FR 连接在主电路中，用于主电路的过载、断相、电流不平衡以及三相交流电动机的热保护。常闭触点 FR-1 连接在控制电路中，用于控制控制电路的通断。合上电源总开关 QF，按下起动按钮 SB1，过热保护继电器的常闭触点 FR-1 接通控制电路，交流接触器 KM 线圈得电，常开主触点 KM-1 闭合，接通三相交流电源，电源经过热保护继电器的热元件 FR 为三相交流电动机供电，三相交流电动机起动运转；常开辅助触点 KM-2 闭合，实现自锁功能，即使松开起动按钮 SB1，三相交流电动机仍能保持运转状态。

图 4-50 所示为过热保护继电器的控制关系。当主电路中出现过载断相、电流不平衡或三相交流电动机过热时，过热保护继电器的热元件 FR 通过热效应，推动动作机构使其常闭触点 FR-1 断开，切断控制电路供电电源，交流接触器 KM 线圈失电，常开主触点 KM-1 复位断开，切断电动机供电电源，电动机停止运转，常开辅助触点 KM-2 复位断开，解除自锁功能，从而实现对电路的保护。



【资料】

待主电路中的电流正常或三相交流电动机温度逐渐冷却时，过热保护继电器 FR 的常闭触点 FR-1 复位闭合，再次接通电路，此时只需重新起动电路，三相交流电动机便可起动运转。

4.5.5　避雷器的控制关系



避雷器是一种防雷击的接地保护装置，当供电系统受到雷击时，能够将雷电电流迅速导入大地，以防止变配电设备受到瞬间过电压的损害。

图 4-51 所示为避雷器的连接关系。从图中可看出，避雷器安装于带电导线与地之间，与被保护的变配电设备呈并联状态。

图 4-52 所示为避雷器的控制关系。正常时电源经高压隔离开关 QS1 和高压断路器 QF1 分为 4 路供配电线路，各供配电线路分别经高压隔离开关和高压断路器后为用电设备进行供电，避雷器此时无动作。当供电系统受到雷击时，雷电电压值达到避雷器的动作电压，避雷器立即动作进行放电，将雷电电流迅速导入大地，从而限制供电设备的过电压幅值，保护设备。



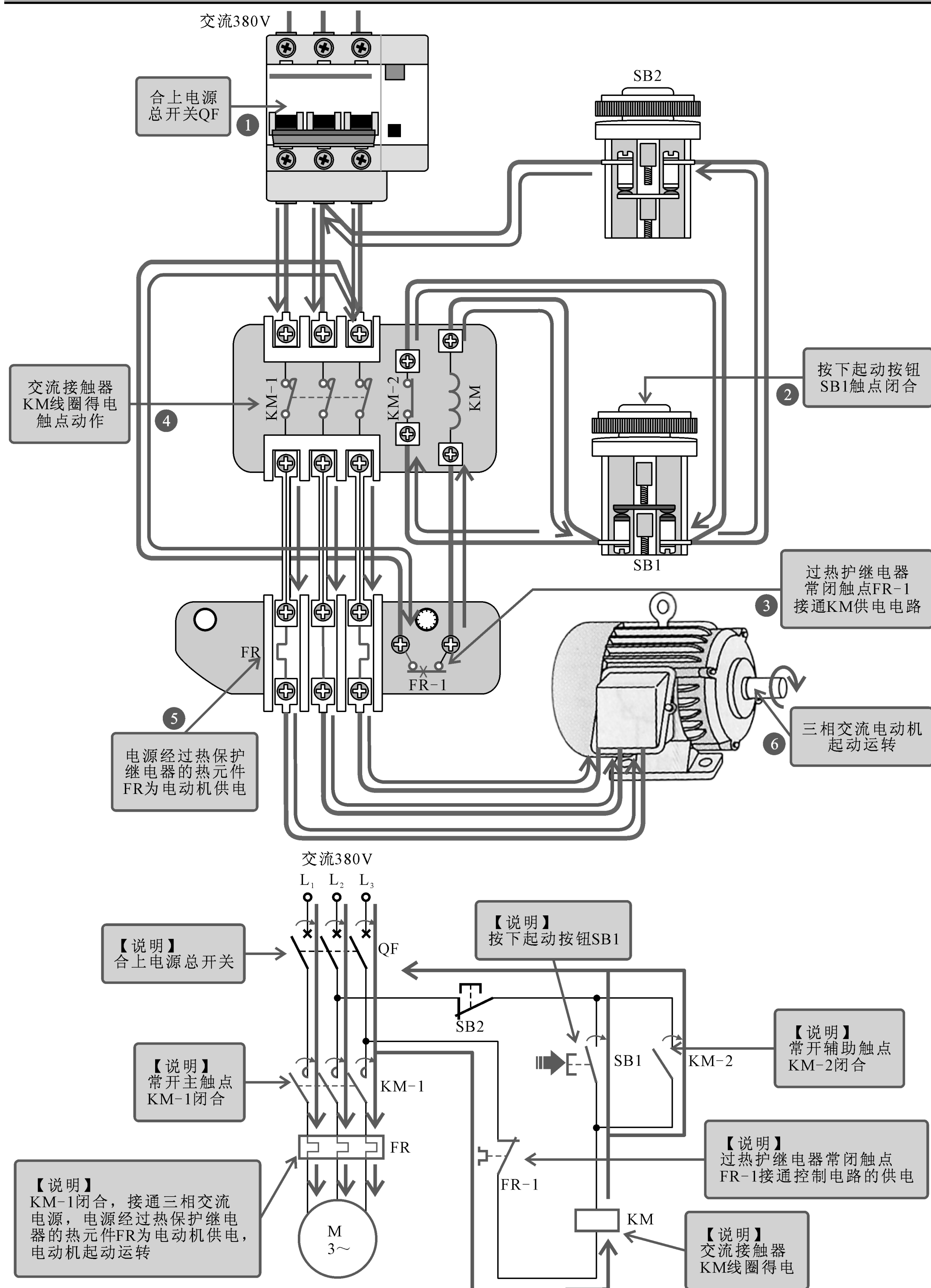


图4-49 过热保护继电器的连接关系

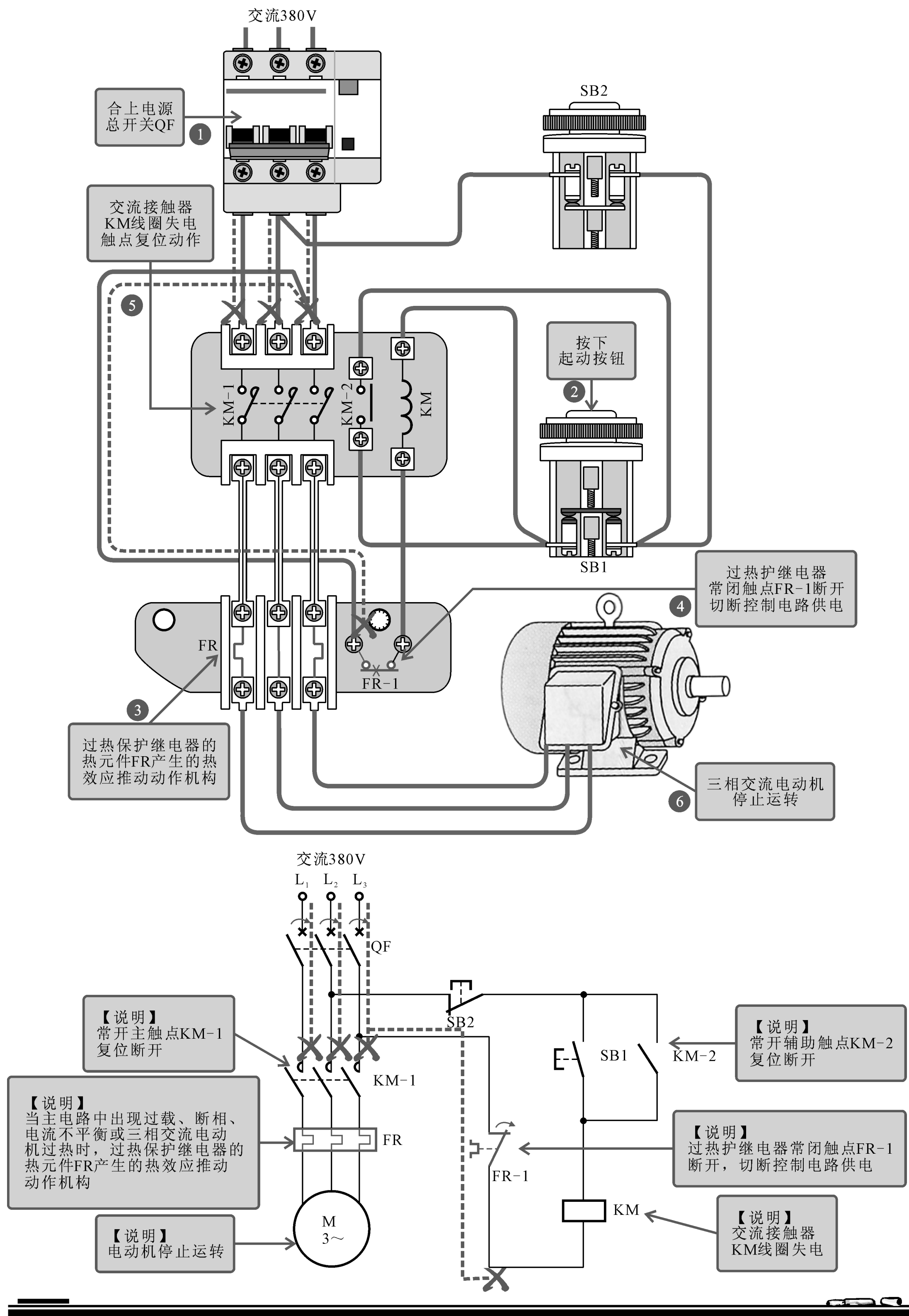


图 4-50　过热保护继电器的控制关系



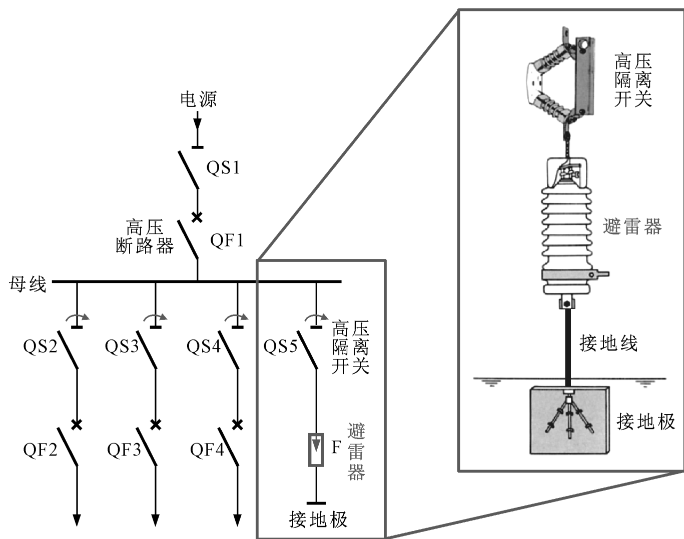


图4-51　避雷器的连接关系

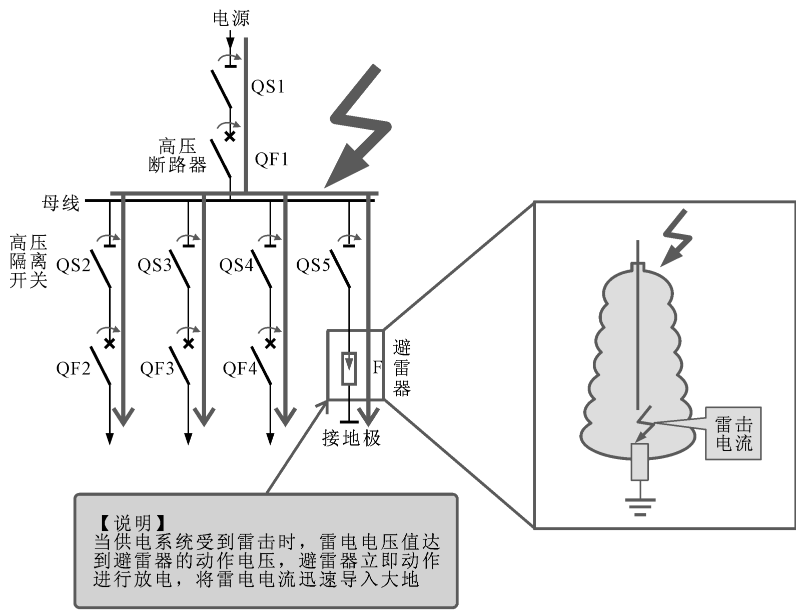


图4-52　避雷器的控制关系

【注意】

当雷击过后，避雷器又迅速恢复原状，以保证变配电系统正常供电。

第 5 章 通过案例搞清楚直流电动机的控制电路



现在，开始进入第 5 章的学习，本章我们要了解常用直流电动机控制电路的电气控制过程。在电气控制技术应用领域，直流电动机控制电路有着广泛的应用。目前很多直流电动机控制电路都采用现代化的电气控制技术，不同种类的电气部件组合，不同方式的电气设备连接关系，导致直流电动机控制电路的功能多种多样。

为了能够在短时间内搞清直流电动机控制电路的电气控制，我们依托大量实际应用案例，从直流电动机控制电路的电路构成入手，找到直流电动机控制电路中的主要组成部件，建立其相互连接关系，进而对直流电动机控制电路的工作方式进行分析，从一个个控制过程中，梳理出直流电动机控制电路的控制过程。

相信通过对下面精心筛选的经典应用案例的分析，大家很快就能搞清直流电动机控制电路的电气控制特色。

5.1 了解一下直流电动机的控制过程





本节主要是对直流电动机的控制过程进行了解，首先需要看一下直流电动机控制电路需要用到的部件有哪些，然后再将这些部件进行关联后，分析一下是怎么实现对直流电动机进行控制的。

5.1.1 看看直流电动机的控制电路中有哪些器件



直流电动机控制电路采用直流供电，控制线路通过各种电器部件的组合连接可实现多种不同的控制功能，例如直流电动机的起动、运转、变速、制动和停机等控制。无论实现怎样的功能，均是通过相关控制部件、功能部件以及直流电动机以不同的连接方式构成的。图 5-1 所示为典型直流电动机控制电路。

由图 5-1 可知，直流电动机主要是由电源总开关（QS1）、熔断器（FU1、FU2）、直流电动机（M）、起动按钮（SB1）、停止按钮/不闭锁的常闭按钮（SB2）、直流接触器（KM1 ~ KM3）、时间继电器（KT1、KT2）等构成。

为了便于理解，我们可以将上面的典型直流电动机控制电路以实物连接的形式体现。图 5-2 所示为典型直流电动机控制电路的实物连接关系示意图。

上面我们大体了解了直流电动机控制电路的的实物连接关系，接下来，结合连接关系对直流电动机的控制进行介绍。

5.1.2 怎样做到对直流电动机的控制



直流电动机控制电路是依靠起动按钮、停止按钮、直流接触器、时间继电器等控制部件来对直流电动机进行控制的。图 5-3 所示为典型直流电动机的控制电路。直流电动机控

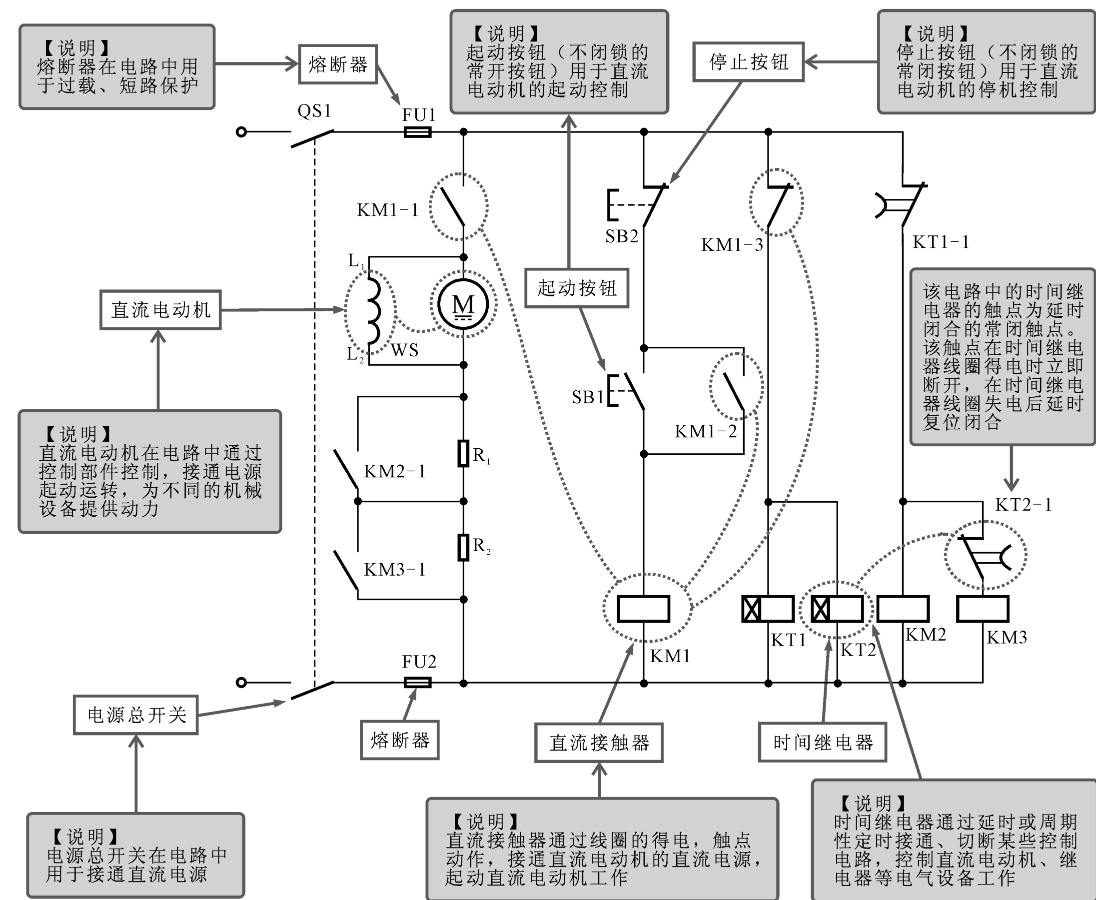


图 5-1　典型直流电动机控制电路

制电路主要是由供电电路、保护电路、控制电路及直流电动机等部分构成的。

控制电路主要由起动按钮 SB1、停止按钮 SB2 和直流接触器 KM1、KM2、KM3、时间继电器 KT1、KT2、起动电阻器 R_1、R_2 等构成，通过起停按钮开关控制直流接触器触点的闭合与断开，通过触点的闭合与断开来改变串接在电枢回路中起动电阻器的数量，用于控制直流电动机的转速，从而实现对直流电动机工作状态的控制。

1. 直流电动机的起动控制过程

根据直流电动机控制电路的起动控制过程，将直流电动机的起动控制过程划分成 3 个阶段：第 1 阶段是直流电动机的低速起动过程，第 2 阶段是直流电动机的速度提升过程，第 3 阶段是直流电动机的起动完成过程。

（1）直流电动机的低速起动过程

如图 5-4 所示，合上电源总开关 QS1，接通直流电源。时间继电器 KT1、KT2 线圈得电。由

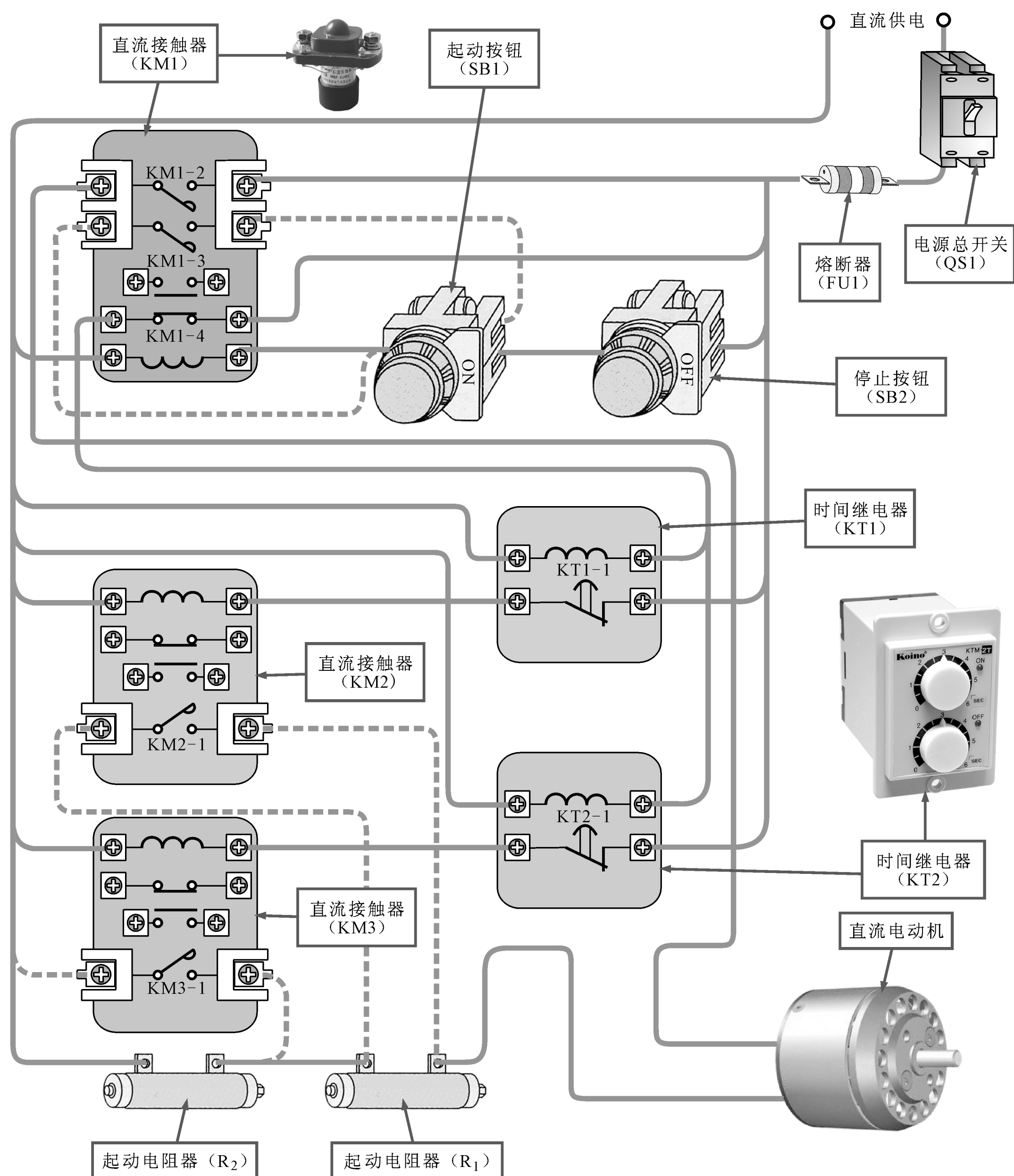


图 5-2　典型直流电动机控制电路的实物连接关系示意图

于时间继电器 KT1、KT2 的触点 KT1-1、KT2-1 均为延时闭合的常闭触点，因此在时间继电器线圈得电后，其触点 KT1-1、KT2-1 瞬间断开，防止直流接触器 KM2、KM3 线圈得电。按下起动按钮 SB1，直流接触器 KM1 线圈得电。



【说明】
供电电路受电源总开关QS1的控制，该电路用于为直流电动机及控制部件提供所需的工作电压

保护电路

控制电路

【说明】
控制电路主要由起动按钮SB1、停止按钮SB2和直流接触器KM1、KM2、KM3、时间继电器KT1、KT2、起动电阻器R_1、R_2等构成

供电电路

QS1 FU1 直流电动机 KM1-1 SB2 KM1-3 KT1-1 L_1 WS M L_2 SB1 KM1-2 KM2-1 R_1 KM3-1 R_2 KT2-1 KM1 KT1 KT2 KM2 KM3 FU2

【说明】
保护电路主要由熔断器FU1～FU2构成，用于电路的过载、短路保护

保护电路

【说明】
为了实现电路功能，时间继电器KT2的延时复位时间要比时间继电器KT1的延时复位时间长

图5-3　典型直流电动机的控制电路

直流接触器KM1线圈得电，常开触点KM1-2闭合自锁。常开触点KM1-1闭合，直流电动机接通直流电源，串联起动电阻器R_1、R_2低速起动运转。常闭触点KM1-3断开，时间继电器KT1/KT2失电，进入延时复位计时状态（时间继电器KT2的延时复位时间要长于时间继电器KT1的延时复位时间）。

（2）直流电动机的速度提升过程

如图5-5所示，当达到时间继电器KT1预先设定的复位时间时，常闭触点KT1-1复位闭合。直流接触器KM2线圈得电。常开触点KM2-1闭合，短接起动电阻器R_1。直流电动机串联起动电阻R_2运转，转速提升。

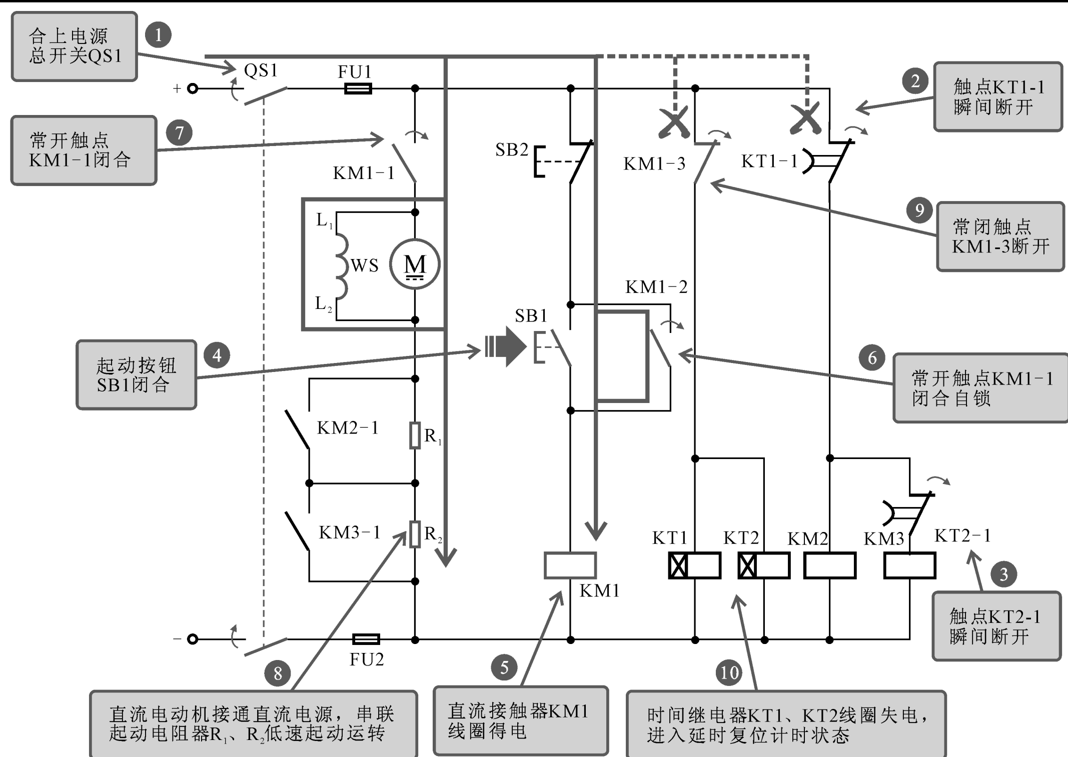


图 5-4　直流电动机的低速起动过程

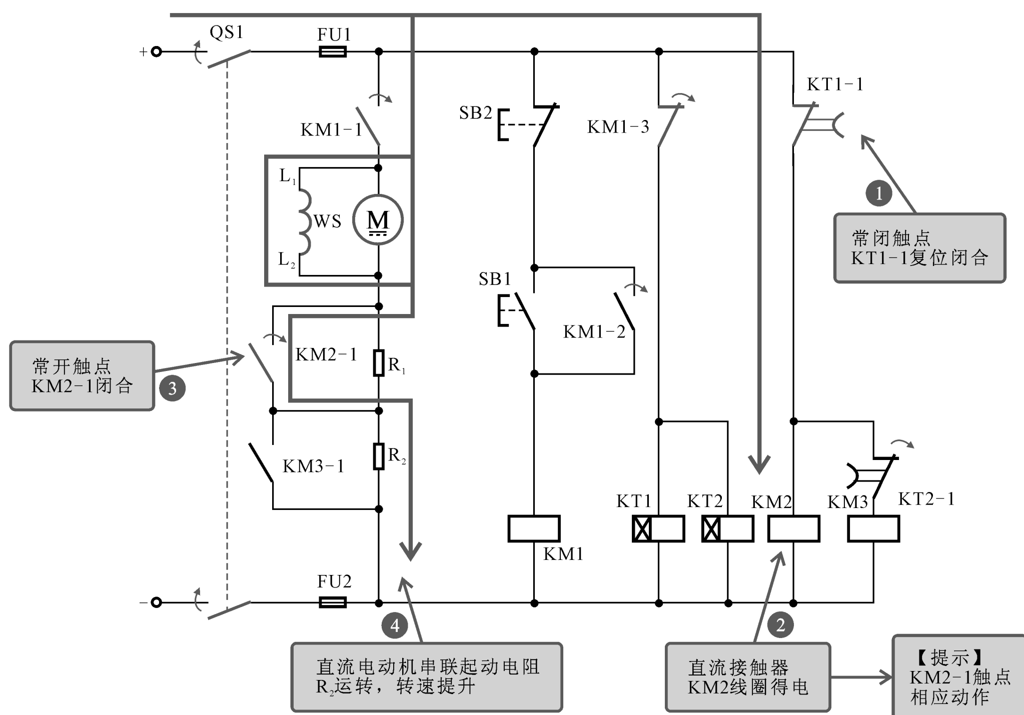


图 5-5　直流电动机的速度提升过程

(3) 直流电动机的起动完成过程

如图5-6所示，当时间继电器KT2达到预先设定的复位时间时，常闭触点KT2-1复位闭合。直流接触器KM3线圈得电。常开触点KM3-1闭合，短接起动电阻器R_2。直流电动机工作在额定电压下，进入正常运转状态。

2. 直流电动机的停机控制过程

当需要直流电动机停机时，按下停止按钮SB2。直流接触器KM1线圈失电。常开触点KM1-1复位断开，切断直流电动机的供电电源，直流电动机停止运转。常开触点KM1-2复位断开，解除自锁功能。常闭触点KM1-3复位闭合，为直流电动机下一次起动做好准备。

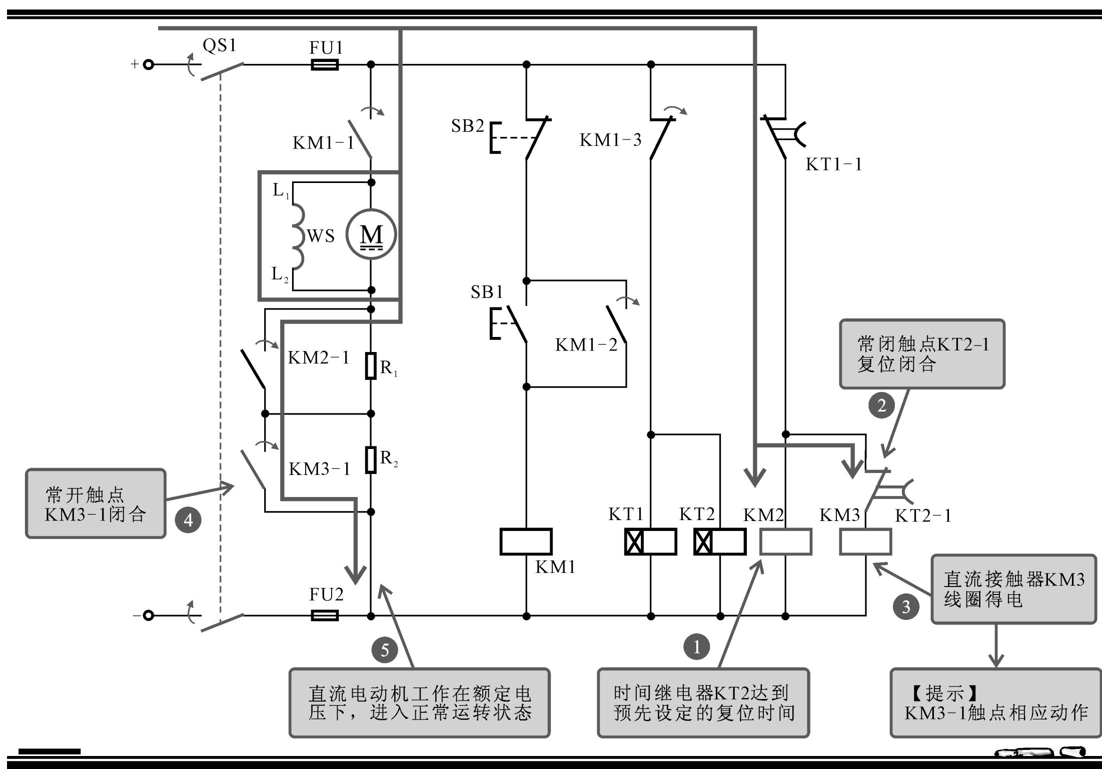


图5-6　直流电动机的起动完成过程

5.2　这些直流电动机的控制效果是如何实现的





通过前文的学习，我们知道了直流电动机控制电路的主要构成部件和基本的控制方法，但由于不同直流电动机控制电路选用的部件不同，部件间的组合方式以及选用部件数量也不相同，加之电路上的连接差异，从而产生多种电动机的控制方式。因此，为了进一步巩固所学知识，下面通过一些案例来搞清楚直流电动机的不同控制效果是如何实现的。

5.2.1　减压起动的直流电动机控制是如何实现的



减压起动的直流电动机控制电路是指直流电动机在起动时，将起动变阻器RP串入直流电动机中，以限制起动电流，当直流起动机在低速旋转一段时间后，再把起动变阻器从

电路中消除（使之短路），使直流电动机正常运转。图 5-7 所示为典型减压起动的直流电动机控制电路。使用变阻器起动的直流电动机控制电路主要是由供电电路、保护电路、控制电路和直流电动机等构成的。

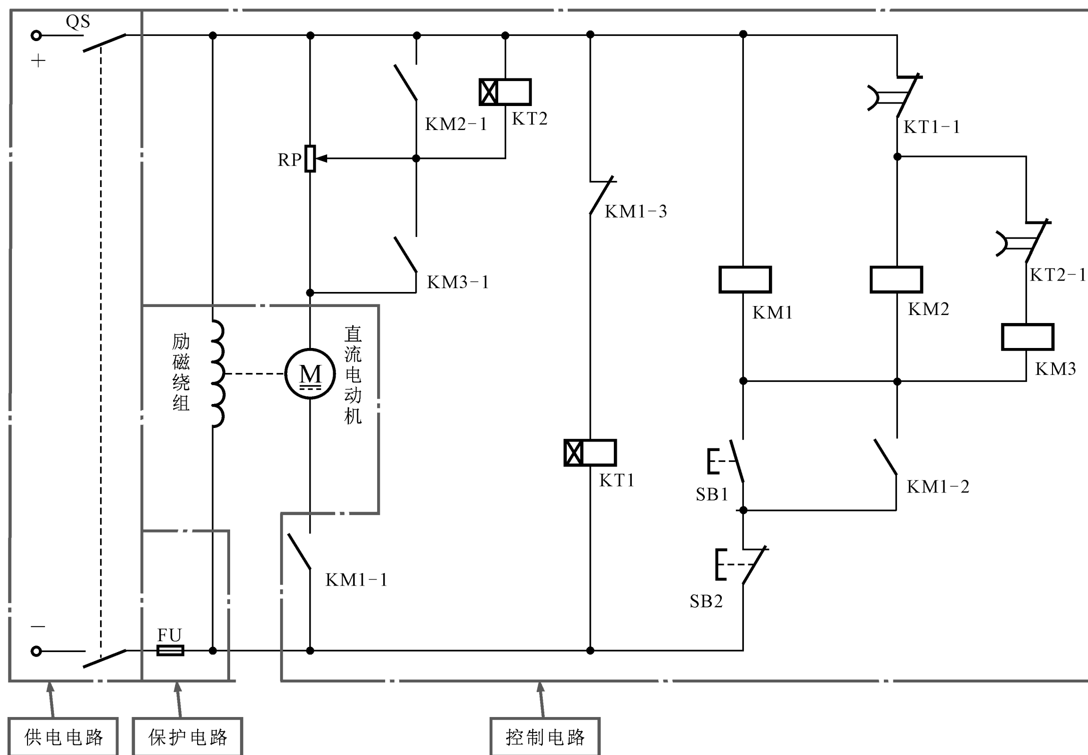


图 5-7 典型减压起动的直流电动机控制电路



【资料】

该电路中的电源总开关 QS、可变电阻器 RP、起动按钮 SB1、停止按钮 SB2、时间继电器 KT1 和 KT2、直流接触器 KM1/KM2/KM3 等为该电路的核心部件。

1. 直流电动机的起动过程

根据直流电动机控制电路的起动控制过程，将直流电动机的起动控制过程划分成 3 个阶段。第 1 阶段是直流电动机低速起动的过程，第 2 阶段是直流电动机中速运转的过程，第 3 阶段是直流电动机高速运转的过程。

（1）直流电动机低速起动的过程

如图 5-8 所示，合上电源总开关 QS，接通电源。时间继电器 KT1 的线圈得电，常闭触点 KT1-1 断开，防止直流接触器 KM2 线圈得电。



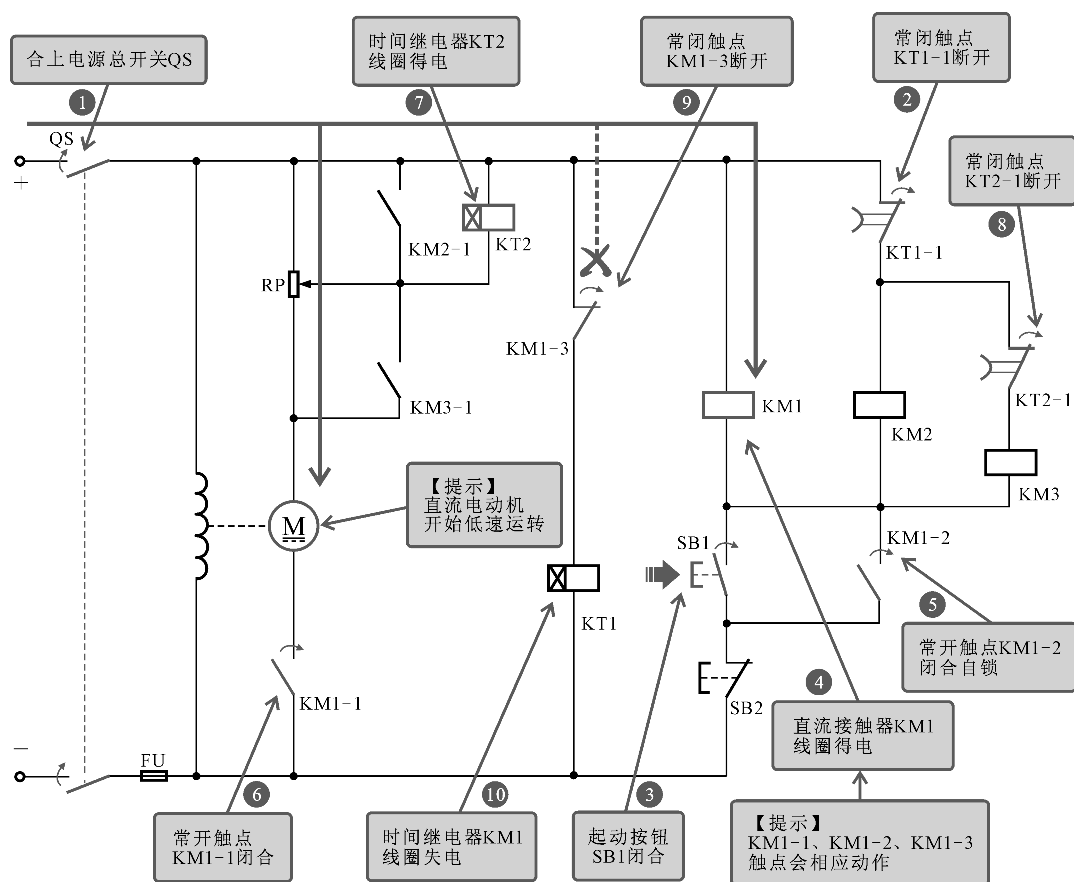


图 5-8　直流电动机低速起动的过程

按下起动按钮 SB1。直流接触器 KM1 线圈得电，常开触点 KM1-2 闭合，实现自锁功能。常开触点 KM1-1 闭合，直流电动机与起动变阻器 RP 串联，直流电动机开始低速运转。同时时间继电器 KT2 线圈得电，常闭触点 KT2-1 断开，防止直流接触器 KM3 线圈得电。常闭触点 KM1-3 断开，时间继电器 KT1 线圈失电，进入等待计时状态（预先设定的等待时间）。

（2）直流电动机中速运转的过程

如图 5-9 所示，时间继电器 KT1 进入计时状态后，当到达预先设定的时间时，常闭触点 KT1-1 复位闭合。直流接触器 KM2 线圈得电，常开触点 KM2-1 闭合。电压经 KM2-1 和可调电阻器 RP 的一部分送入直流电动机中，RP 阻值变小，直流电动机转速继续上升。常开触点 KM2-1 将时间继电器 KT2 回路短接，时间继电器 KT2 线圈失电，进入等待计时状态。

（3）直流电动机高速运转的过程

如图 5-10 所示，时间继电器 KT2 进入计时状态后，当到达预先设定的时间时，常闭触点 KT2-1 复位闭合。直流接触器 KM3 线圈得电，常开触点 KM3-1 闭合。电压经 KM2-1 和 KM3-1 将限流电阻器 RP 短接，直接为直流电动机供电，使直流电动机工作在额定电压下，进入正常运转状态。

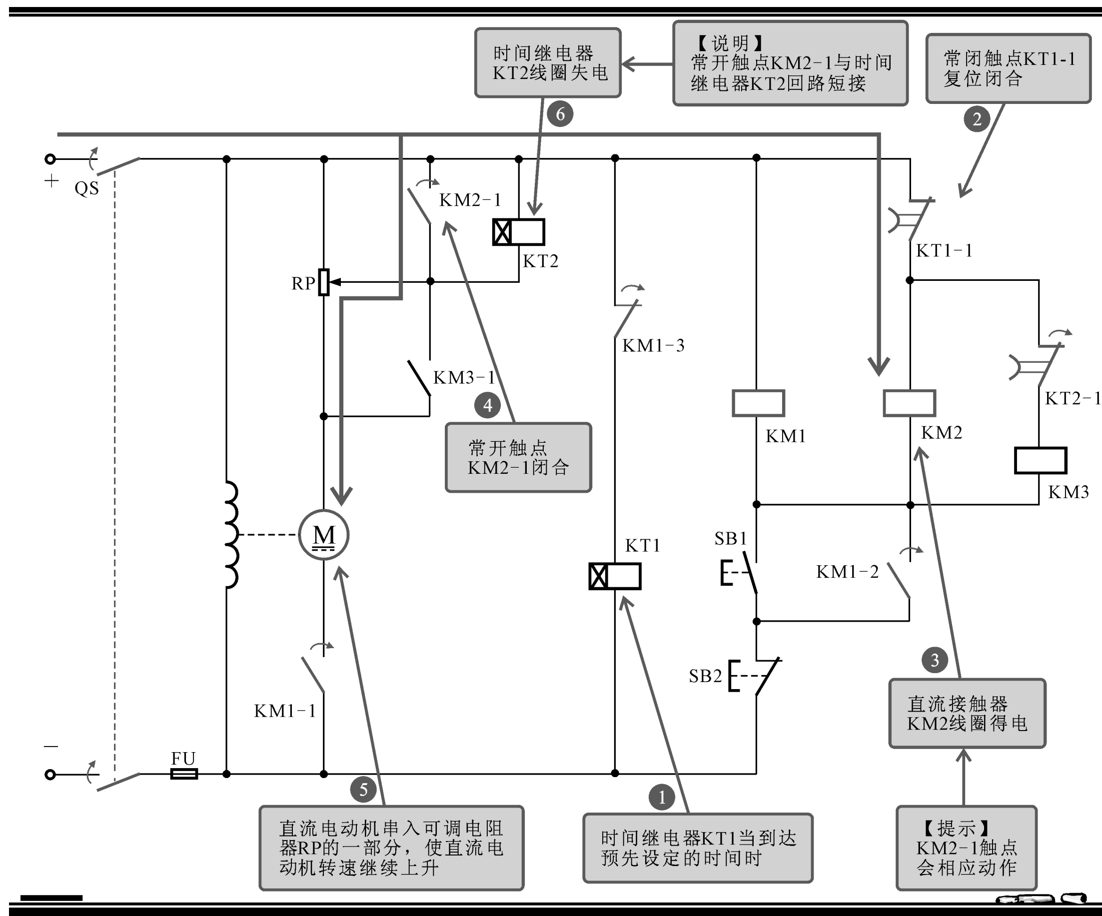


图 5-9　直流电动机中速运转的过程

2. 直流电动机的停机过程

当需要直流电动机停机时，按下停止按钮 SB2。直流接触器 KM1、KM2 和 KM3 线圈失电，其触点全部复位。常开触点 KM1-1、KM2-1 和 KM3-1 复位断开，切断直流电动机的供电电源，停止运转。常开触点 KM1-2 复位断开，解除自锁。常闭触点 KM1-3 复位闭合，使时间继电器 KT1 线圈得电，为下一次的起动做好准备。

5.2.2　直流电动机正反转连续控制是如何实现的



直流电动机正反转连续控制电路是指通过起动按钮控制直流电动机进行长时间正向运转和反向运转的控制电路。

具体来说，当按下电路中的正转起动按钮时，接通正转直流接触器线圈的供电电源，其常开触点闭合自锁，即使松开正转起动按钮，仍能保证正转直流接触器线圈的供电，直流电动机保持正向运转。

同理当按下电路中的反转起动按钮时，接通反转直流接触器线圈的供电电源，其常开触点闭合自锁，即使松开反转起动按钮，仍能保证反转直流接触器线圈的供电，直流电动机保持反向运转。图 5-11 所示为直流电动机正反转连续控制电路。



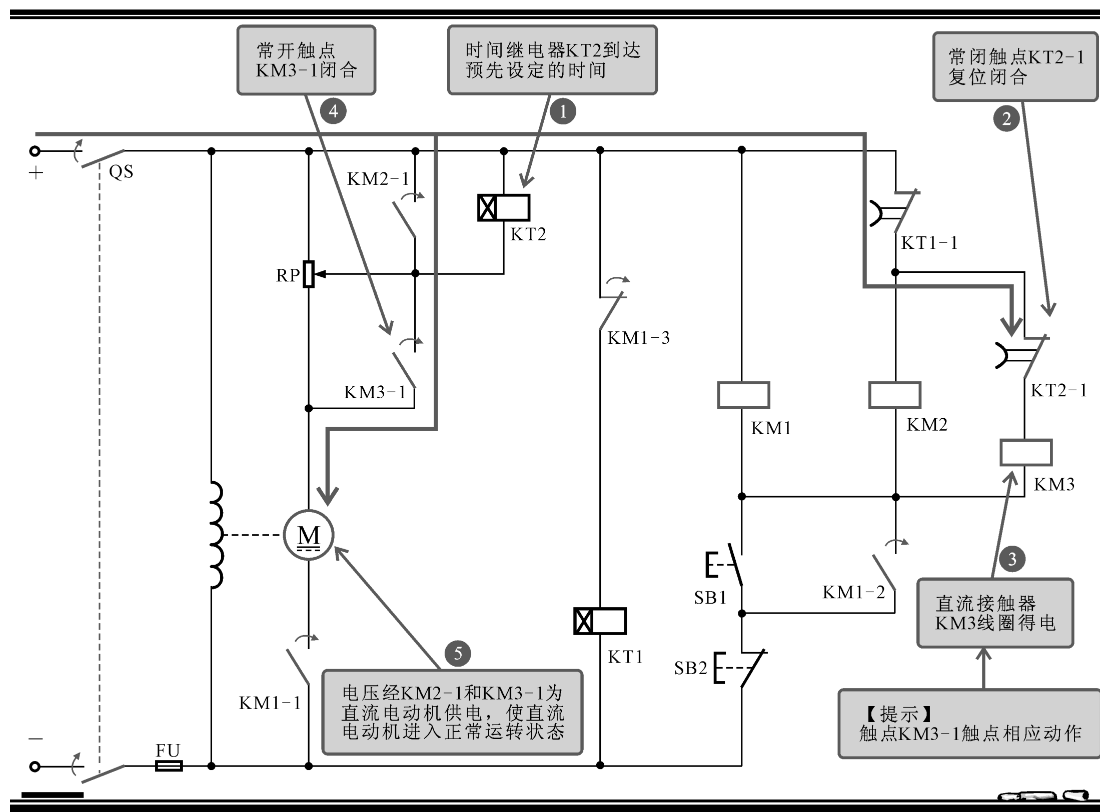


图 5-10　直流电动机高速运转的过程

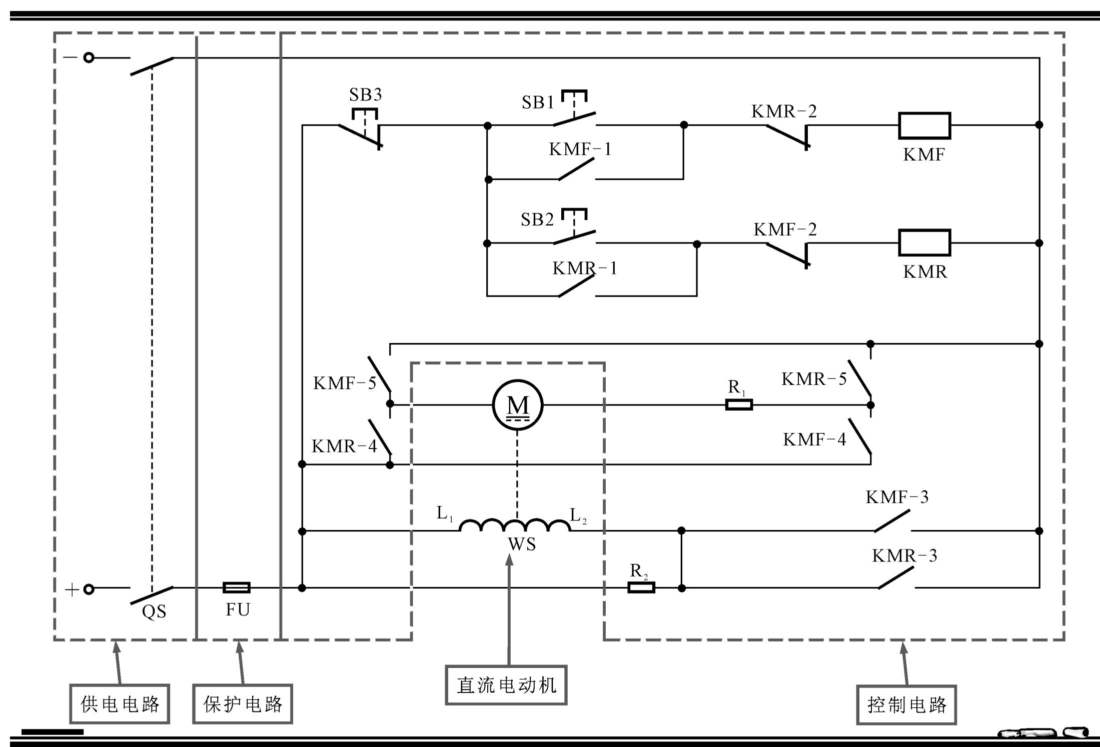


图 5-11　直流电动机正反转连续控制电路

直流电动机正反转连续控制电路主要由供电电路、保护电路、控制电路和直流电动机等构成。该电路中的电源总开关 QS、熔断器 FU、正转起动按钮 SB1、反转起动按钮 SB2、停止按钮 SB3、正转直流接触器 KMF、反转直流接触器 KMR、起动电阻器 R_1、直流电动机等为直流电动机正反转连续控制的核心部件。



【资料】

直流电动机由电枢与励磁绕阻两部分组成，如图 5-12 所示。直流电动机的电枢为转子部分，而励磁绕阻相当于定子部分。只有当电枢与励磁绕阻同时得电时，才能保证直流电动机运转。



图 5-12　直流电动机结构

1. 直流电动机正转起动过程

如图 5-13 所示，合上电源总开关 QS，接通直流电源。按下正转起动按钮 SB1。正转直流接触器 KMF 线圈得电，其触点全部动作：常开触点 KMF-1 闭合实现自锁功能；常闭触点 KMF-2 断

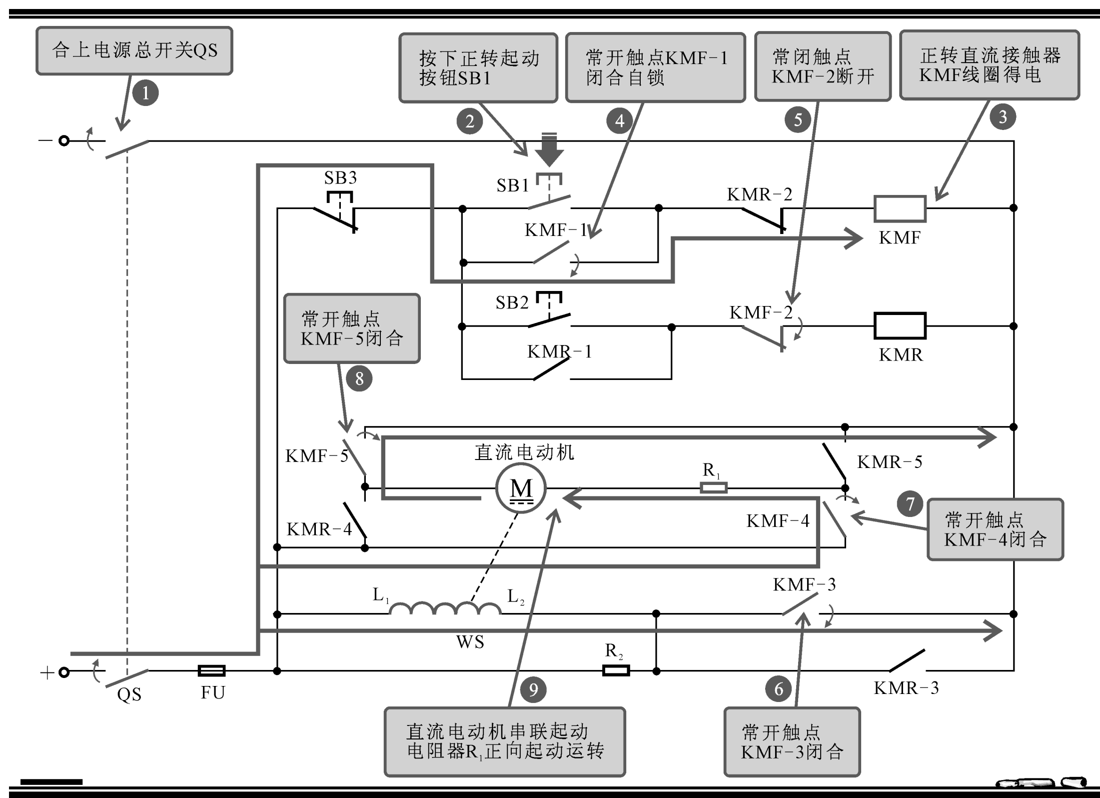


图 5-13　直流电动机正转起动过程

开，防止反转直流接触器 KMR 线圈得电；常开触点 KMF-3 闭合，直流电动机励磁绕阻 WS 得电；常开触点 KMF-4、KMF-5 闭合，直流电动机串联起动电阻器 R_1 正向起动运转。

2. 直流电动机正转停机过程

当需要直流电动机正转停机时，按下停止按钮 SB3。正转直流接触器 KMF 线圈失电。常开触点 KMF-1 复位断开，解除自锁功能。常闭触点 KMF-2 复位闭合，为直流电动机反转起动做好准备。常开触点 KMF-3 复位断开，直流电动机励磁绕阻 WS 失电。常开触点 KMF-4、KMF-5 复位断开，切断直流电动机供电电源，直流电动机停止正向运转。

3. 直流电动机反转过程

如图 5-14 所示，当需要直流电动机进行反转起动时，需先停止直流电动机的正向运转后，才可起动直流电动机进行反向运转。

按下反转起动按钮 SB2。反转直流接触器 KMR 线圈得电，其触点全部动作：常开触点 KMR-1闭合实现自锁功能；常闭触点 KMR-2 断开，防止正转直流接触器 KMF 线圈得电；常开触点 KMR-3 闭合，直流电动机励磁绕阻 WS 得电；常开触点 KMR-4、KMR-5 闭合，直流电动机串联起动电阻器 R_1 反向起动运转。

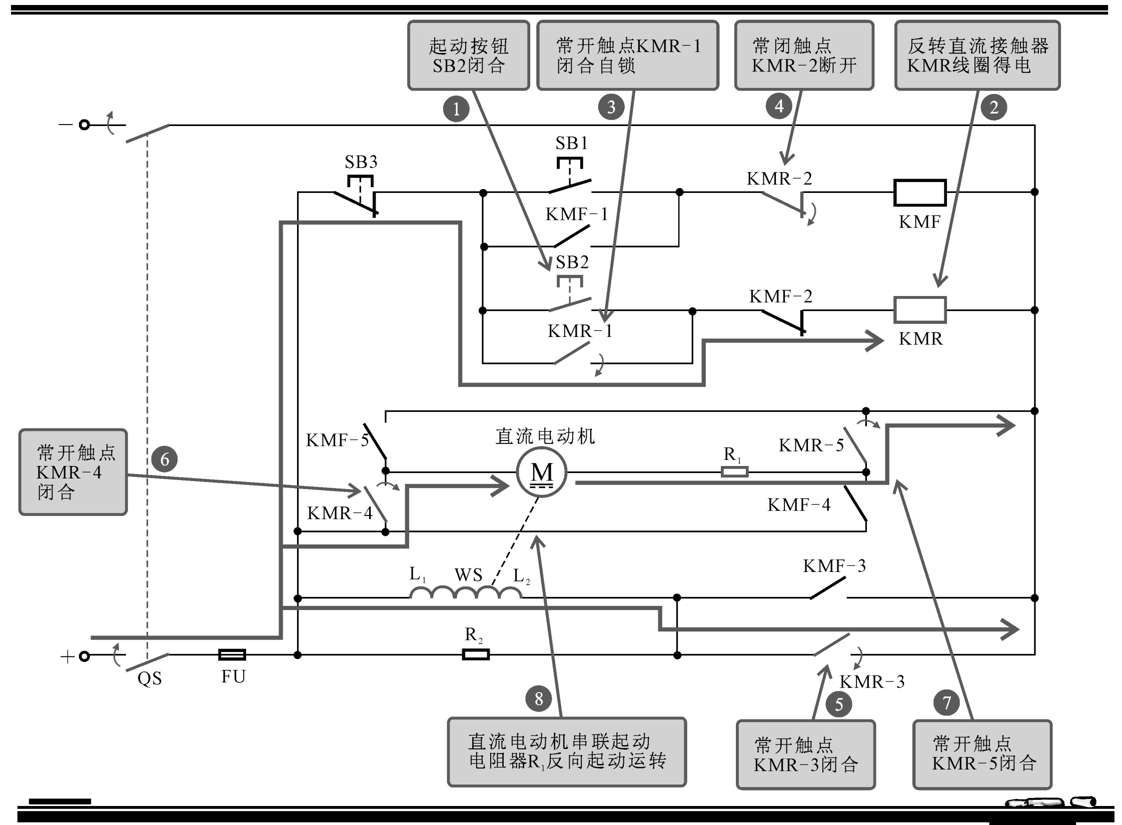


图 5-14　直流电动机反转起动过程

4. 直流电动机停机过程

当需要直流电动机反转停机时，按下停止按钮 SB3。反转直流接触器 KMR 线圈失电。常开触点 KMR-1 复位断开，解除自锁功能。常闭触点 KMR-2 复位闭合，为直流电动机正转起动做好准备。常开触点 KMR-3 复位断开，直流电动机励磁绕阻 WS 失电。常开触点 KMR-4、KMR-5 复位断开，切断直流电动机供电电源，直流电动机停止反向运转。

5.2.3 直流电动机调速控制是如何实现的



直流电动机调速控制电路是一种可在负载不变的条件下，控制直流电动机稳速旋转和旋转速度的电路。图 5-15 所示为典型直流电动机调速控制电路。

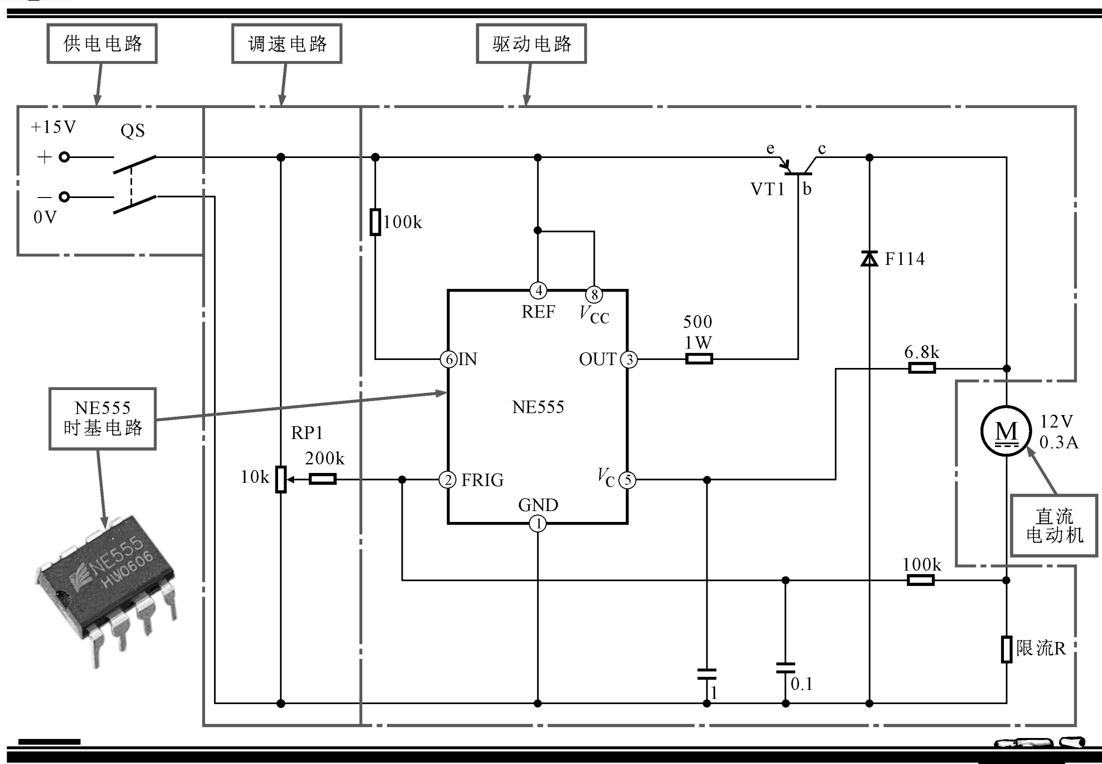


图 5-15　典型直流电动机调速控制电路

直流电动机调速控制电路主要由供电电路、调速电路、驱动电路以及直流电动机等组成。该电路中的 10kΩ 速度调整电阻器 RP1、NE555 时基电路、驱动三极管 VT1 为直流电动机调速控制的核心元件。

提问

驱动电路中的 NE555 在直流电动机调速控制电路中主要是起什么作用？





NE555 是一种计数器电路，主要用来产生脉冲信号，具有计数精确度高、稳定性好、价格便宜等优点，应用比较广泛。

回答

1. 直流电动机的起动过程

如图 5-16 所示，合上电源总开关 QS，接通 +15V 直流电源。+15V 直流为 NE555 的⑧脚提供工作电源，NE555 开始工作。由 NE555 的③脚输出驱动脉冲信号，送往驱动三极管 VT1 的基极。驱动三极管 VT1 工作后，其集电极输出脉冲电压。+15V 直流电压经 VT1 变成脉冲电流为直流电动机供电。直流电动机开始起动运转。



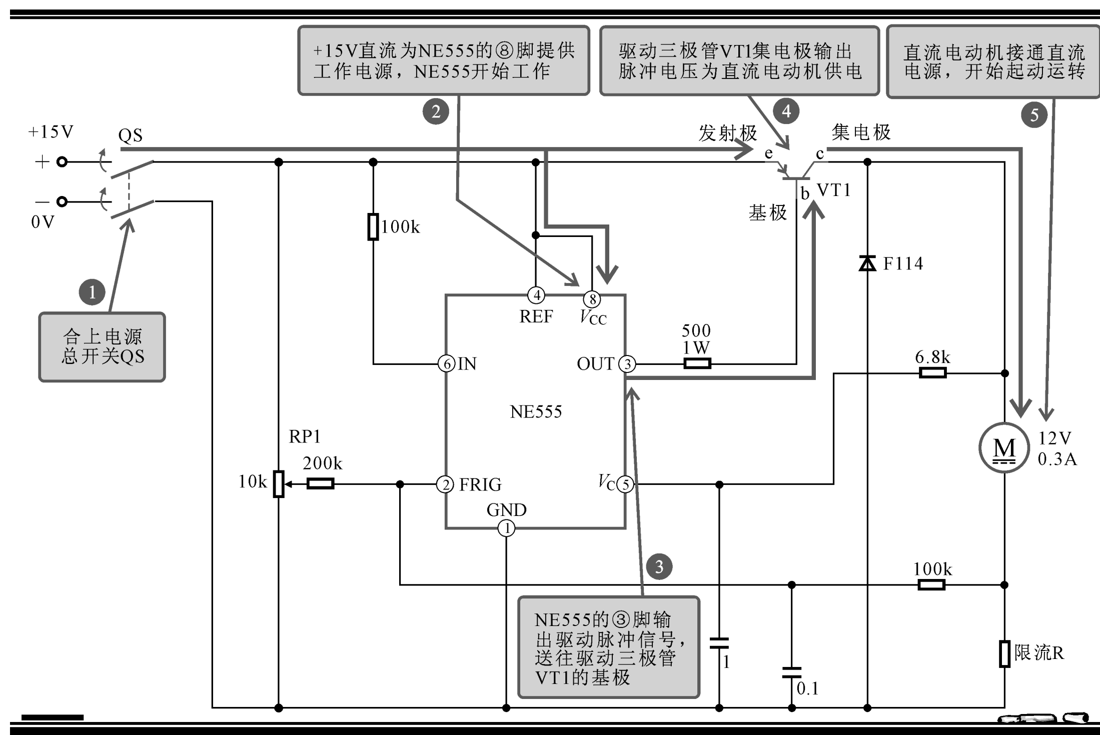


图 5-16　直流电动机的起动过程

2. 直流电动机的稳速控制过程

如图 5-17 所示，直流电动机的电流会在限流电阻器 R 上产生压降。该压降经 100kΩ 电阻器

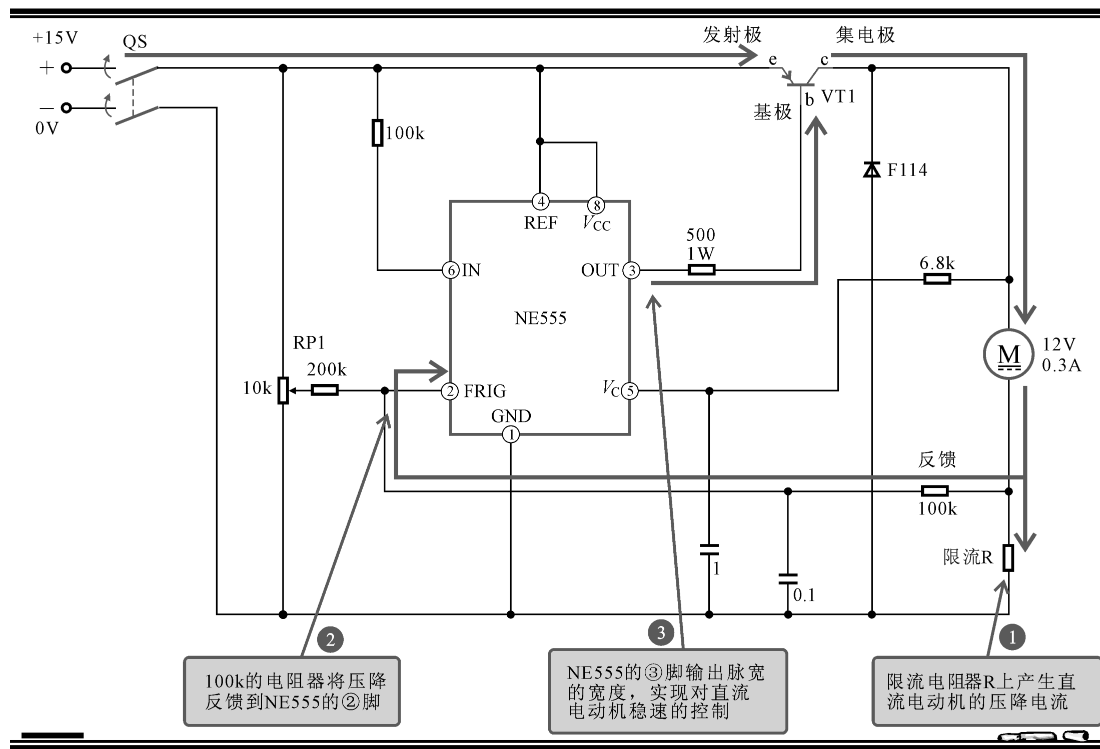


图 5-17　直流电动机的稳速控制过程

反馈到 NE555 的②脚。控制 NE555 的③脚输出脉宽的宽度，实现对直流电动机的稳速控制。

3. 直流电动机的低高速控制过程

根据直流电动机转速控制电路的转速控制，将直流电动机的转速控制过程划分成 2 个阶段。第 1 阶段是直流电动机的低速控制过程，第 2 阶段是直流电动机的高速控制过程。

（1）直流电动机的低速控制过程

如图 5-18 所示，将速度调整电阻器 RP1 的阻值调至最大（10kΩ）。+15V 直流电压经过 VR1 和 200kΩ 电阻器串联送入 NE555 的②脚。NE555 内部控制③脚输出的脉冲信号宽度最小，直流电动机转速达到最低。

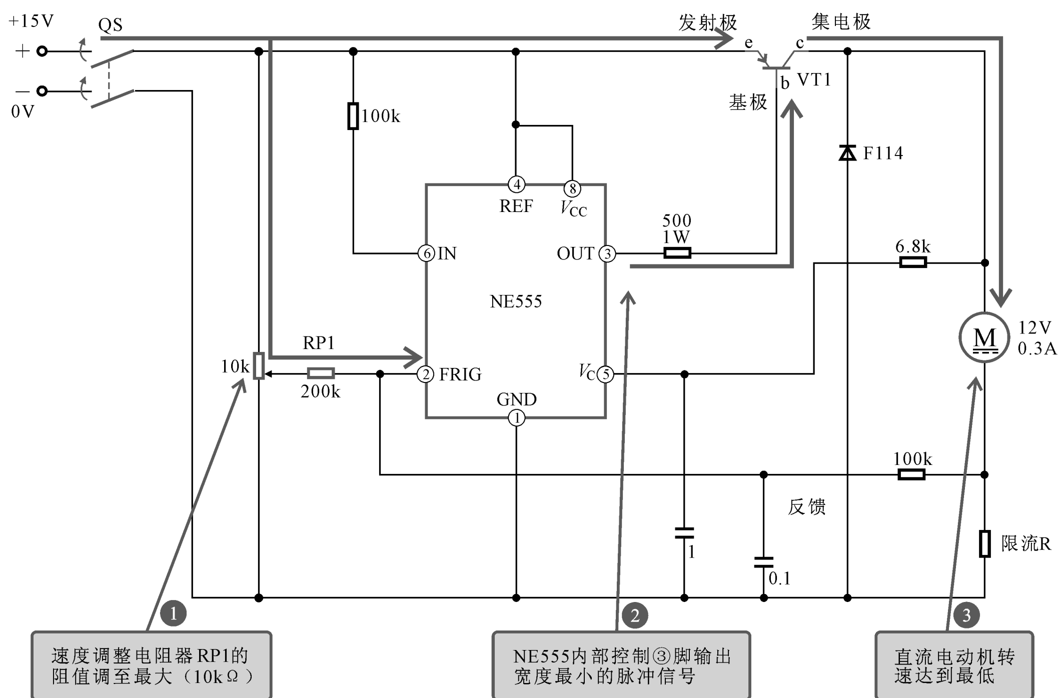


图 5-18 直流电动机的低速运转过程

（2）直流电动机的高速控制过程

如图 5-19 所示，将速度调整电阻器 RP1 的阻值调至最小（0Ω）。+15V 直流电压只经过 200kΩ 电阻器串联送入 NE555 的②脚。NE555 内部控制③脚输出的脉冲信号宽度最大，直流电动机转速达到最高。需停机时，将电源总开关 QS 关闭即可。

5.2.4 直流电动机能耗制动控制是如何实现的



直流电动机的能耗制动控制电路是指维持直流电动机的励磁不变，把正在接通电源，并具有较高转速的直流电动机电枢绕组从电源上断开，使直流电动机变为发电机，并与外

+15V QS 发射极 e 集电极 c VT1 基极 b 0V 100k F114 REF Vcc 4 8 500 1W IN 6 OUT 3 6.8k NE555 RP1 FRIG 2 Vc 5 12V 0.3A 10k 200k GND 1 100k 反馈 限流R 1 0.1

速度调整电阻器RP1的阻值调至最小（0Ω）

NE555内部控制③脚输出宽度最大的脉冲信号

直流电动机转速达到最高

图5-19　直流电动机的高速运转过程

加电阻器连接而成为闭合回路，利用此电路中产生的电流及制动转矩使直流电动机快速停车的方法。在制动过程中，是将拖动系统的动能转化为电能并以热能形式消耗在电枢电路的电阻器上。图5-20为直流电动机能耗制动控制电路的原理图。

常开触点KM-1断开，使电枢脱离直流电源

FU KM-1 KM-2 R M L_1 L_2 + −

【说明】
直流电动机制动时，励磁绕组L_1、L_2两端电压极性不变，因而励磁的大小和方向不变

常开触点KM-2闭合，使外加制动电阻器R与电枢绕组构成闭合回路


图5-20　直流电动机能耗制动控制电路的原理图



由于直流电动机存在惯性，仍会按照直流电动机原来的方向继续旋转，所以电枢反电动势的方向也不变，并且成为电枢回路的电源，这就使得制动电流的方向同原来供电的方向相反，电磁转矩的方向也随之改变，成为制动转矩，从而促使直流电动机迅速减速至停止。在能耗制动的过程中，还需要考虑制动电阻器 R 电阻值的大小，若制动电阻器 R 电阻值太大，制动缓慢。R 电阻值的大小要使得最大制动电流不超过电枢额定电流的 2 倍。

图 5-21 所示为典型直流电动机能耗制动控制电路。

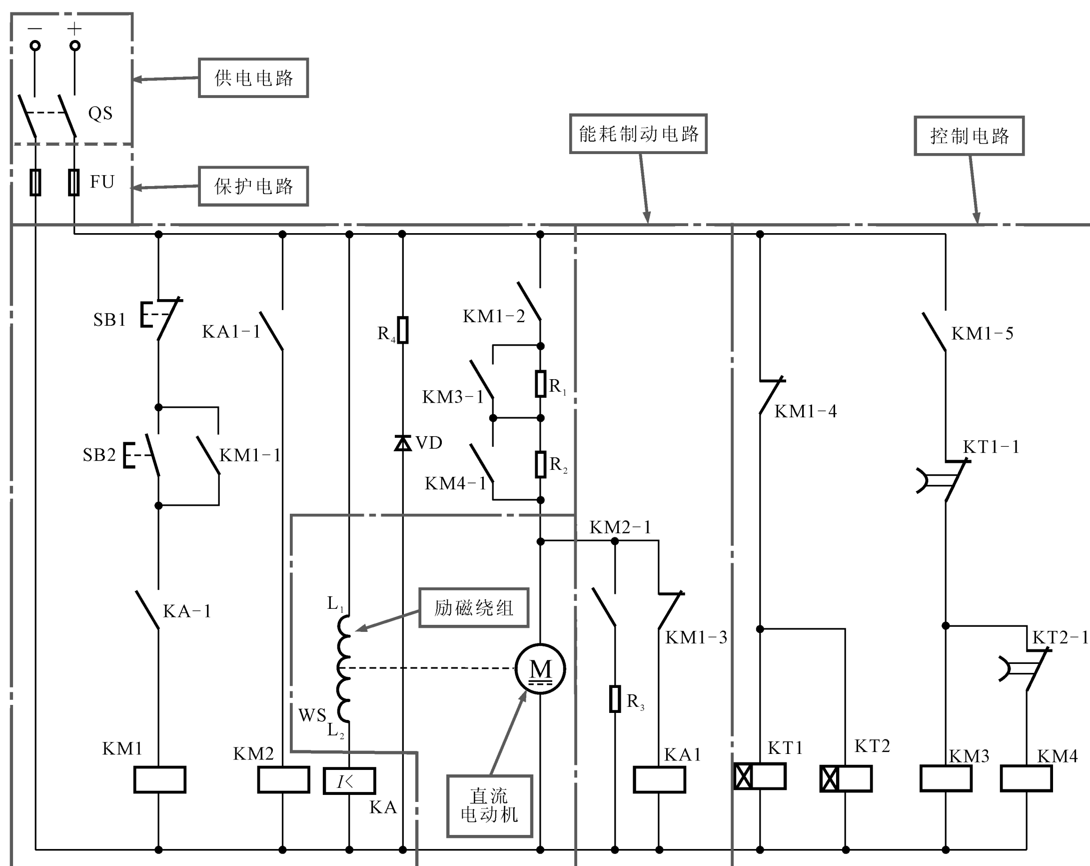


图 5-21　典型直流电动机能耗制动控制电路

直流电动机的能耗制动控制电路主要是由供电电路、保护电路、控制电路、能耗制动电路和直流电动机等构成。

该电路中电源总开关 QS、起动按钮 SB2、停止按钮 SB1、中间继电器 KA1、欠电流继电器 KA、时间继电器 KT1/KT2、直流接触器 KM1/KM2/KM3/KM4、制动电阻器 R_3 为直流电动机能耗制动控制的核心部件。

1. 直流电动机的起动过程

根据直流电动机能耗控制电路的起动原理，将直流电动机的起动控制过程划分成 3 个阶段。

第 1 个阶段是直流电动机低速起动过程，第 2 个阶段是直流电动机速度提升过程，第 3 个阶段是直流电动机正常运转过程。

（1）直流电动机低速起动过程

如图 5-22 所示，合上电源总开关 QS，接通直流电源。励磁绕组 WS 和欠电流继电器 KA 线圈得电，常开触点 KA-1 闭合，为直流接触器 KM1 线圈得电做好准备。同时时间继电器 KT1、KT2 线圈得电，常闭触点 KT1-1、KT1-2 瞬间断开，防止 KM3、KM4 线圈得电。

按下起动按钮 SB2，直流接触器 KM1 线圈得电。常开触点 KM1-1 闭合，实现自锁功能。常开触点 KM1-2 闭合，直流电动机串联起动电阻器 R_1、R_2 低速起动运转。常闭触点 KM1-3 断开，防止中间继电器 KA1 线圈得电。常闭触点 KM1-4 断开，时间继电器 KT1、KT2 线圈均失电，进入延时复位闭合计时状态。常开触点 KM1-5 闭合，为直流接触器 KM3、KM4 线圈得电做好准备。

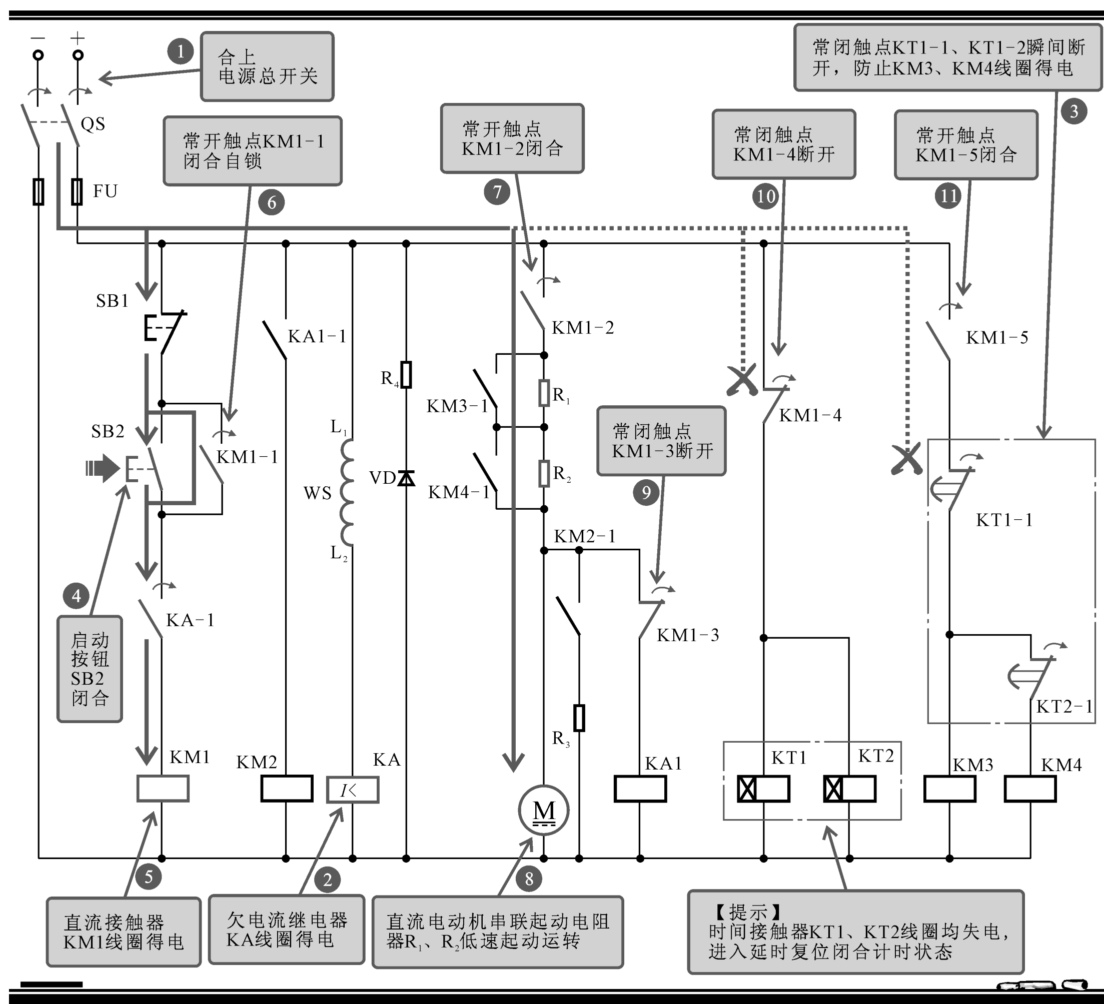


图 5-22　直流电动机低速起动过程

（2）直流电动机速度提升过程

时间继电器 KT1、KT2 线圈失电后，经一段时间延时（预先设定的延时复位时间，该电路中时间继电器 KT2 的延时复位时间要长于时间继电器 KT1 的延时复位时间），如图 5-23 所示，时

间继电器的常闭触点 KT1-1 首先复位闭合，直流接触器 KM3 线圈得电。常开触点 KM3-1 闭合，短接起动电阻器 R_1。直流电动机串联起动电阻器 R_2 进行运转，速度提升。

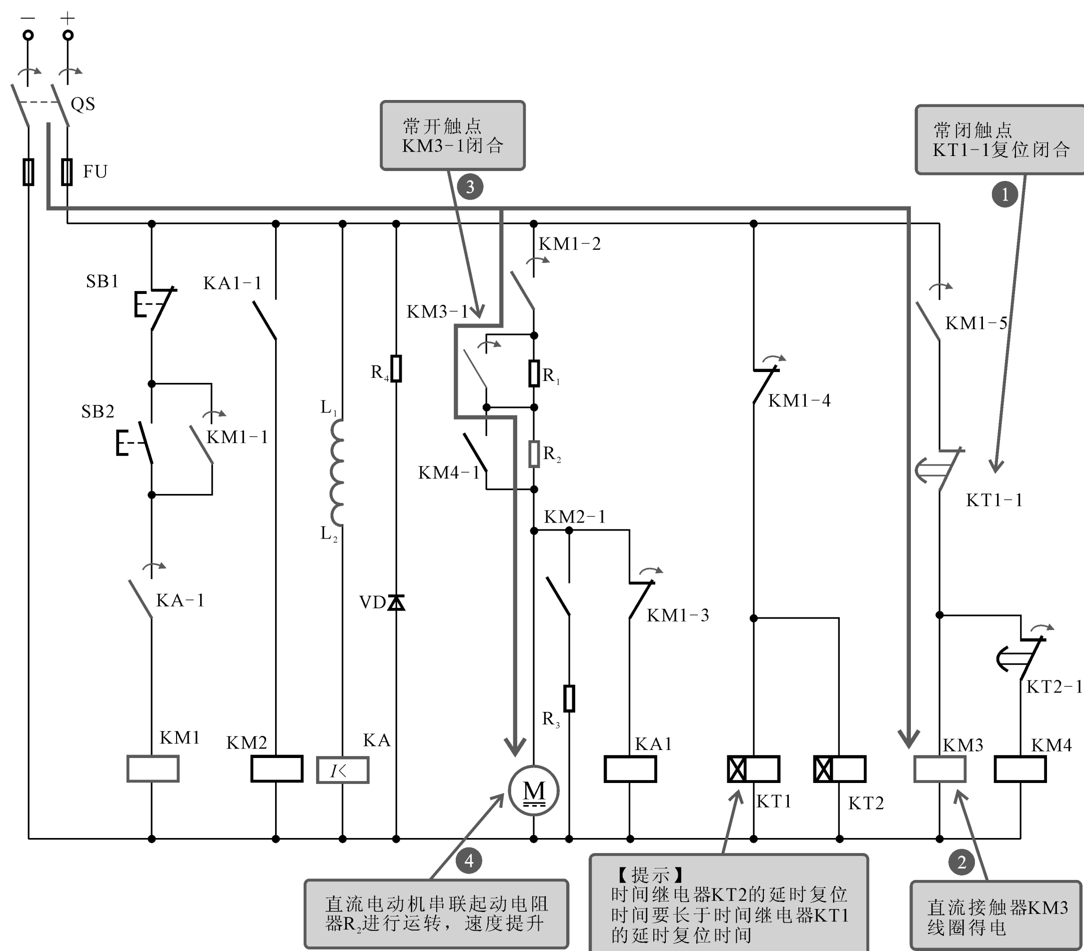


图 5-23　直流电动机速度提升过程

（3）直流电动机正常运转过程

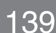
如图 5-24 所示，当到达时间继电器 KT2 的延时复位时间时，常闭触点 KT2-1 复位闭合。直流接触器 KM4 线圈得电，常开触点 KM4-1 闭合，短接起动电阻器 R_2。电压经闭合的常开触点 KM3-1 和 KM4-1 将 R_1、R_2 短路直接为直流电动机供电，直流电动机工作在额定电压下，进入正常运转状态。

2. 直流电动机的能耗控制过程

根据直流电动机能耗控制电路的能耗控制过程，将直流电动机的能耗控制过程划分成 2 个阶段。第 1 阶段是直流电动机能耗制动过程，第 2 阶段是直流电动机能耗制动结束过程。

（1）直流电动机能耗制动过程

如图 5-25 所示，按下停止按钮 SB1。直流接触器 KM1 线圈失电。常开触点 KM1-1 复位断



常开触点 KM4-1闭合

常闭触点KT2-1 复位闭合

电压经闭合的常开触点KM3-1和KM4-1为直流电动机供电，直流电动机工作在额定电压下，进入正常运转状态

直流接触器 KM4线圈得电

图 5-24　直流电动机正常运转过程

开，解除自锁功能。常开触点 KM1-2 复位断开，切断直流电动机供电电源，直流电动机做惯性运转。常闭触点 KM1-3 复位闭合，为中间继电器 KA1 线圈的得电做好准备。常闭触点 KM1-4 复位闭合，再次接通时间继电器 KT1、KT2 的供电。常开触点 KM1-5 复位断开，直流接触器 KM3、KM4 线圈失电。

由于惯性运转的电枢切割磁力线，在电枢绕组中产生感应电动势，使并联在电枢两端的中间继电器 KA1 线圈得电。常开触点 KA1-1 闭合，直流接触器 KM2 线圈得电。常开触点 KM2-1 闭合，接通制动电阻器 R_3 回路，这时电枢的感应电流方向与原来的方向相反，电枢产生制动转矩，使直流电动机迅速停止转动。

（2）直流电动机能耗制动结束过程

当直流电动机转速降低到一定程度时，电枢绕组的感应反电动势也降低，中间继电器 KA1 线圈失电。常开触点 KA1-1 复位断开，直流接触器 KM2 线圈失电。常开触点 KM2-1 复位断开，切断制动电阻器 R_3 回路，停止能耗制动，整个系统停止工作。



图 5-25　直流电动机能耗制动过程

第6章 通过案例搞清楚单相交流电动机的控制电路



现在，开始进入第6章的学习，本章我们要了解常用单相交流电动机控制电路的电气控制过程。在电气控制技术应用领域，单相交流电动机控制电路有着广泛的应用。目前很多单相交流电动机控制电路都采用现代化的电气控制技术，不同种类的电气部件组合，不同方式的电气设备连接关系，导致单相交流电动机控制电路的功能多种多样。

为了能够在短时间内搞清单相交流电动机控制电路的电气控制，我们依托大量实际应用案例，从单相交流电动机控制电路的电路构成入手，找到单相交流电动机控制电路中的主要组成部件，建立其相互连接关系，进而对单相交流电动机控制电路的工作方式进行分析，从一个个控制过程中，梳理出单相交流电动机控制电路的控制过程。

相信通过对下面精心筛选的经典应用案例的分析，大家很快就能搞清单相交流电动机控制电路的电气控制特色。

6.1 了解一下单相交流电动机的控制过程





本节主要是对单相交流电动机的控制过程进行了解。首先需要介绍单相交流电动机控制电路需要用到的部件有哪些，然后再将这些部件进行关联后，分析对单相交流电动机的控制是怎么实现的。

6.1.1 看看单相交流电动机有哪些驱动方式



单相交流电动机的驱动方式主要有单相交流感应电动机的正反转驱动方式、可逆交流单相电动机的驱动方式、单相交流电动机的起/停控制方式、离心开关式单相交流电动机的驱动方式、单相交流电动机电容起动式驱动方式、双速电动机的驱动方式、交流电动机调速控制方式等。

1. 交流感应电动机的基本驱动方式

图6-1所示为交流感应电动机的基本驱动方式。图6-1a为三相交流感应电动机的驱动方式，三相电源直接连接到电动机的三相绕组上。

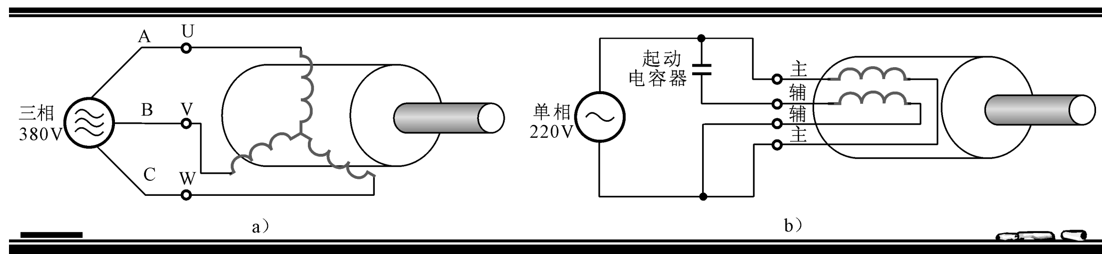


图6-1 交流感应电动机的基本驱动方式

图 6-1b 为单相交流感应电动机的连接方式，电动机的主线圈（绕组）直接与电源相连，辅助绕组通过起动电容与电源的一端相连，另一端直接与电源相连。

2. 单相交流感应电动机的正反转驱动方式

图 6-2 所示为单相交流感应电动机的正反转驱动电路，电路中辅助绕组通过起动电容器与电源供电相连，主绕组通过正反向开关与电源供电线相连，开关可调换接头，来实现正反转控制。

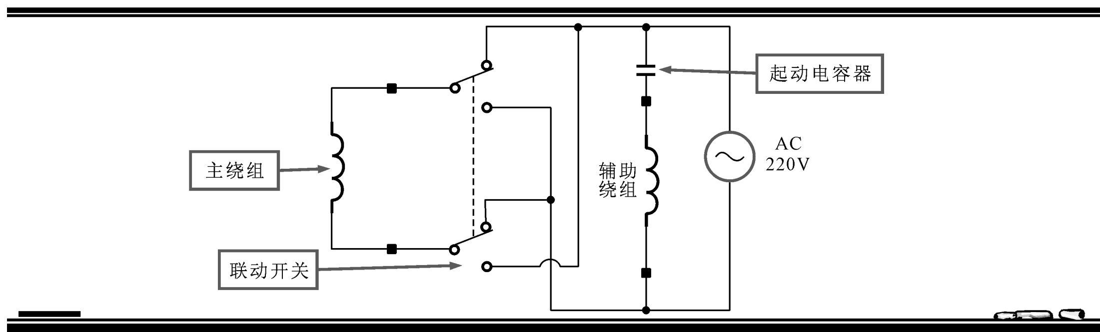


图 6-2　单相交流感应电动机的正反转驱动电路

3. 可逆交流单相电动机的驱动方式

图 6-3 所示为可逆交流单相电动机的驱动电路。这种电动机内设有两个绕组（主绕组和辅助绕组），单相交流电源加到两绕组的公共端，绕组另一端接一个起动电容。正反向旋转切换开关接到电源与绕组之间，通过切换两个绕组实现转向控制，这种情况电动机的两个绕组参数相同，用互换主绕组的方式进行转向切换。

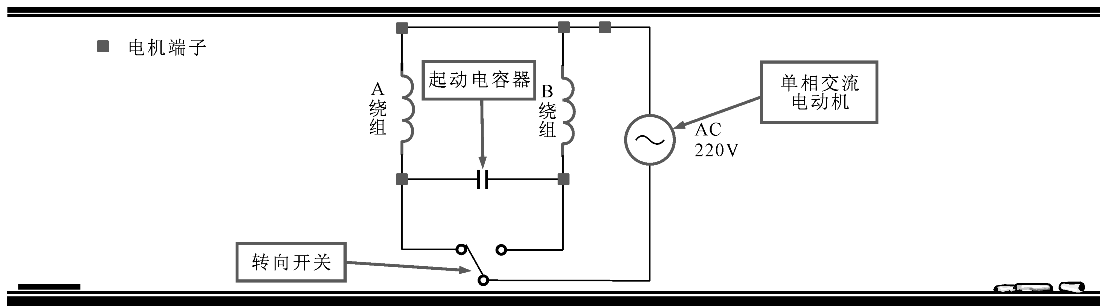


图 6-3　可逆交流单相电动机的驱动电路

4. 单相交流电动机的起/停控制方式

图 6-4 所示为单相交流电动机的起/停控制电路，该电路中采用一个双联开关，当停机时，

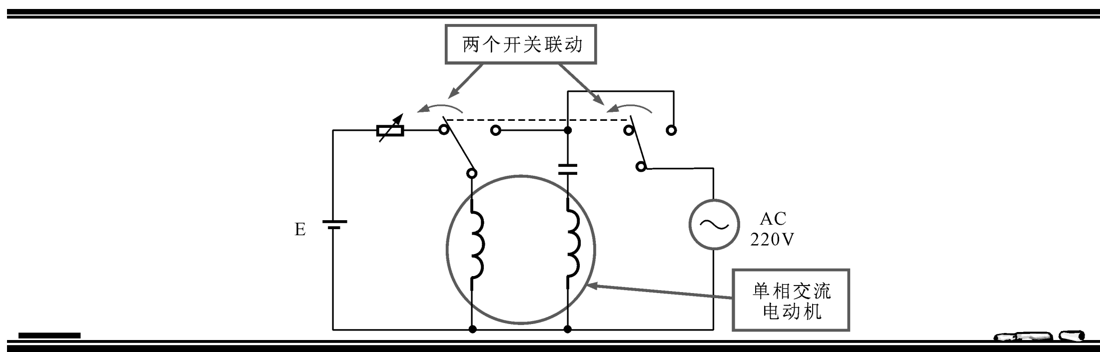


图 6-4　单相交流电动机的起/停控制电路

将主绕组通过电阻与直流电源 E 相连，使绕组中产生制动转矩而停机。

5. 离心开关式单相交流电动机的驱动方式

单相异步电动机按照起动方式的不同，可分为电阻起动式单相异步电动机和电容起动式单相异步电动机两大类。为了能快速起动电阻起动式单相异步电动机，电动机设有两组线圈，即主线圈和起动线圈，在起动线圈供电电路中设有离心开关。起动时，开关闭合，AC 220V 电压分别加到两线圈中，由于两线圈的相位成 90°，线圈的磁场对转子形成起动转矩使电动机起动，当起动后达到一定转速时，离心开关受离心力作用而断开，起动线圈停止工作，只由主线圈驱动转子旋转，如图 6-5 所示。

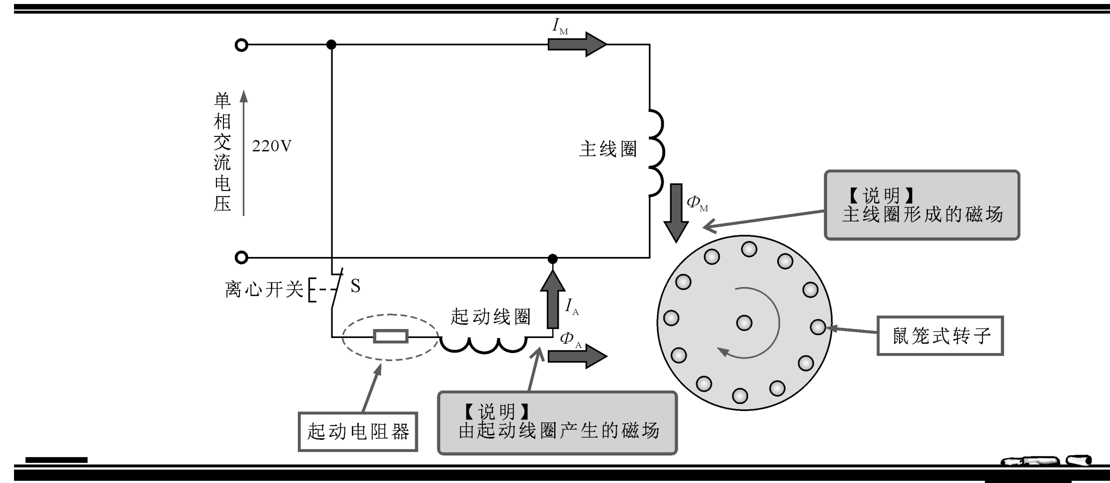


图 6-5　电阻起动式单相异步电动机电路图

6. 单相交流电动机电容起动式驱动方式

为了使电容起动式单相异步电动机形成旋转磁场，将起动绕组与电容器串联，通过电容移相的作用，在加电时，形成起动磁场，如图 6-6 所示。通常在机电设备中所用的电动机多采用电容起动方式。

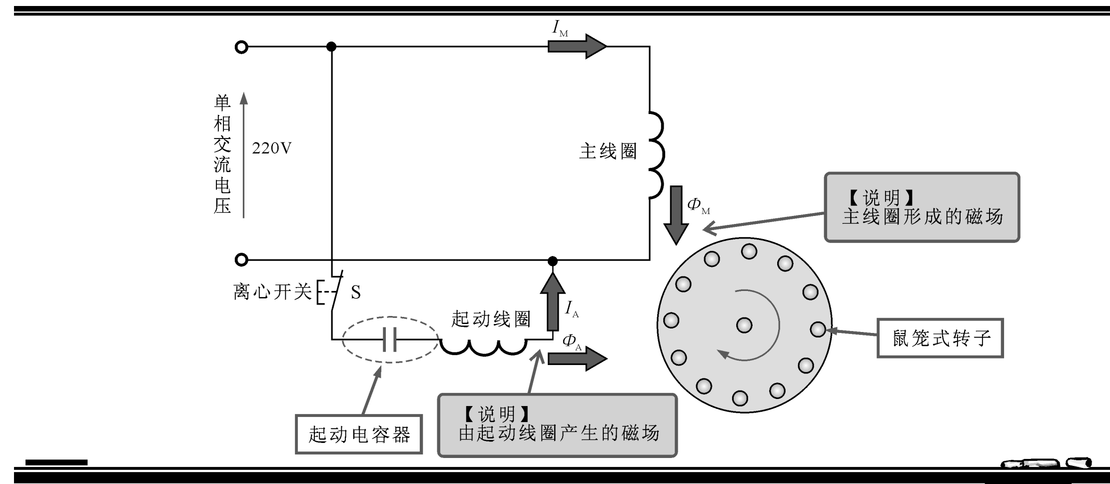


图 6-6　电容起动式单相异步电动机电路图

7. 双速电动机的驱动方式

滚筒洗衣机中的洗涤电动机经常采用双速电动机，全称为电容运转式双速电动机，该电动机的内部装有2套绕组，同在一个定子铁心上，两套绕组分别为12极低速绕组和2极高速绕组。在洗涤过程中，由低速绕组工作；在脱水过程中，由高速绕组工作。

图6-7所示为电容运转式双速电动机的电路结构图，其中12极绕组为低速绕组，由主绕组、副绕组、公共绕组组成。2极绕组为高速绕组，由主绕组和副绕组组成。

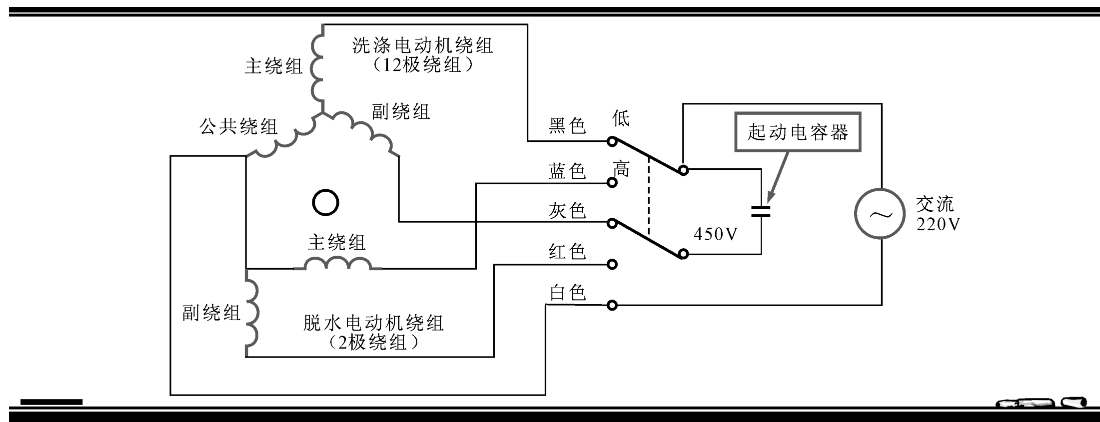


图6-7　电容运转式双速电动机的电路结构图

8. 交流电动机调速控制方式

图6-8所示为单相交流电动机调速控制电路，该电路主要是由双向二极管VD、双向晶闸管VS等组成的。

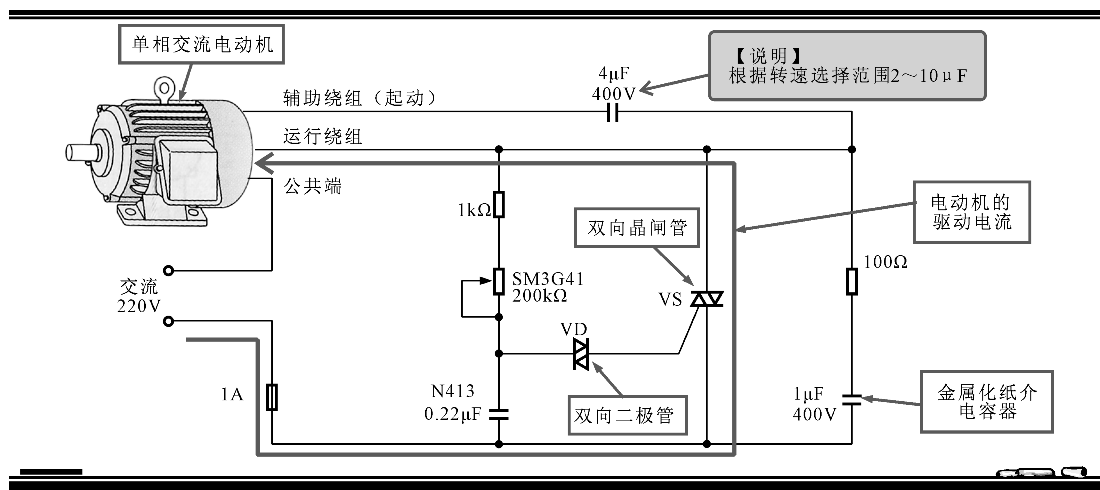


图6-8　单相交流电动机调速控制电路

单相交流220V电压为供电电源，一端加到单相交流电动机绕组的公共端。运行端经双向晶闸管VS接到交流220V的另一端，同时经4μF的起动电容器接到辅助绕组的端子上。

电动机的主通道中只有双向晶闸管VD2导通，电源才能加到两绕组上，电动机才能旋转。

双向晶闸管 VS 受 VD 的控制，在半个交流周期内 VD 输出脉冲，VS 受到触发便可导通，改变 VD 的触发角（相位）就可对速度进行控制。

6.1.2 看看单相交流电动机的控制电路中有哪些器件

单相交流电动机控制电路是采用单相交流供电，控制线路通过各种电器部件的组合连接可实现多种不同的控制功能，例如单相交流电动机的起动、变速、制动、正转、反转、双速、点动等多种控制。无论想要实现怎样的功能，都是通过相关控制部件、功能部件以及单相交流电动机以不同的连接方式构成不同控制关系实现的。图 6-9 所示为典型单相交流电动机控制电路。

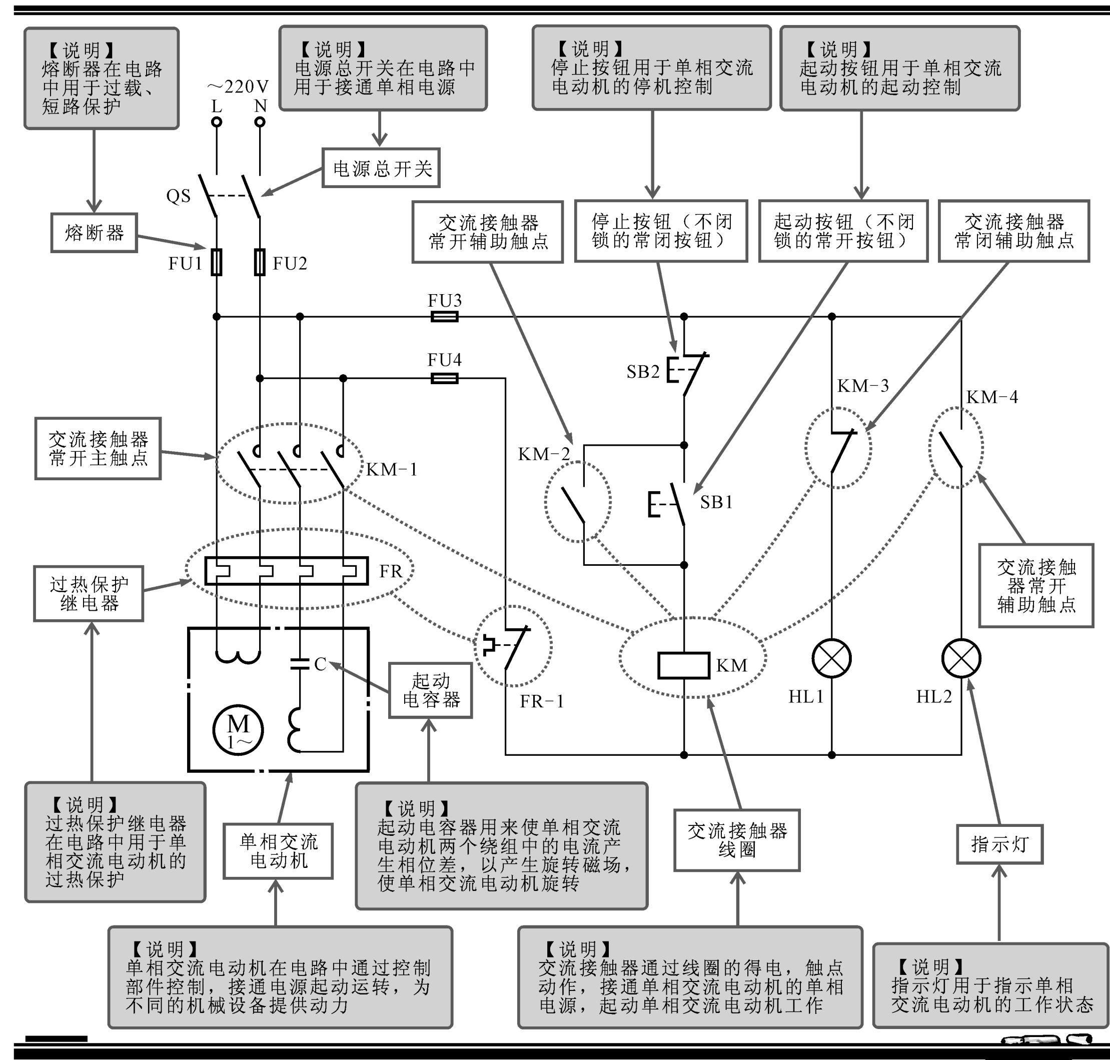


图 6-9 典型单相交流电动机控制电路

由图 6-9 可知，单相交流电动机主要是由电源总开关 QS、熔断器 FU、过热保护继电器 FR、交流接触器 KM、起动按钮（不闭锁的常开按钮）SB1、停止按钮（不闭锁的常闭按钮）SB2、

指示灯 HL、起动电容器 C、单相交流电动机 M 等构成。

提问

在典型单相交流电动机控制电路中设有许多熔断器，它们都是用于保护什么的呢？为什么要在电动机旁边安装过热保护继电器呢？





总电源开关处设有的熔断器 FU1，FU2 用于供电保护，若总电流出现过流的情况，熔断器 FU1、FU2 自行熔断，对电路进行过电流保护。

交流接触器处设有的熔断器用于电动机过载的保护，若单相交流电动机出现过载时，熔断器 FU3、FU4 会自行熔断，对单相交流电动机进行过载保护。

单相交流电动机处还设有的过热保护继电器用于单相交流电动机的过热保护，当单相交流电动机出现过热的情况，过热保护继电器 FR 的触点会断开电路，切断单相交流电动机的供电电源。采用过热保护继电器，当单相交流电动机冷却后，还可以再次起动工作，而熔断器损坏后则需对其进行更换。

回答

为了便于理解，可以将上面的典型单相交流电动机控制电路以实物连接的形式体现。图 6-10 为典型单相交流电动机控制电路的实物连接关系示意图。

上面我们大体了解了单相交流电动机控制电路的实物连接关系，接下来，结合连接关系对单相交流电动机的控制进行介绍。

6.1.3 怎样做到对单相交流电动机的控制



单相交流电动机控制电路是依靠起动按钮、停止按钮、交流接触器等控制部件来对单相交流电动机进行控制的。图 6-11 所示为典型单相交流电动机控制电路的结构。单相交流电动机控制电路主要是由供电电路、保护电路、控制电路、指示灯电路及单相交流电动机等部分构成的。

1. 单相交流电动机的起动过程

图 6-12 所示为单相交流电动机的起动过程。合上电源总开关 QS，接通单相电源。电源经常闭触点 KM-3 为停机指示灯 HL1 供电，HL1 点亮。按下起动按钮 SB1，交流接触器 KM 线圈得电。

交流接触器 KM 线圈得电，其常开辅助触点 KM-2 闭合，实现自锁功能。常开主触点 KM-1 闭合，电动机接通单相电源，开始起动运转。常闭辅助触点 KM-3 断开，切断停机指示灯 HL1 的供电电源，HL1 熄灭。常开辅助触点 KM-4 闭合，运行指示灯 HL2 点亮，指示电动机处于工作状态。

2. 单相交流电动机的停机过程

当需要电动机停机时，按下停止按钮 SB2。交流接触器 KM 线圈失电，其常开辅助触点 KM-2 复位断开，解除自锁功能。常开主触点 KM-1 复位断开，切断电动机的供电电源，电动机停止运转。常闭辅助触点 KM-3 复位闭合，停机指示灯 HL1 点亮，指示电动机处于停机状态。常开辅助触点 KM-4 复位断开，切断运行指示灯 HL2 的电源供电，HL2 熄灭。



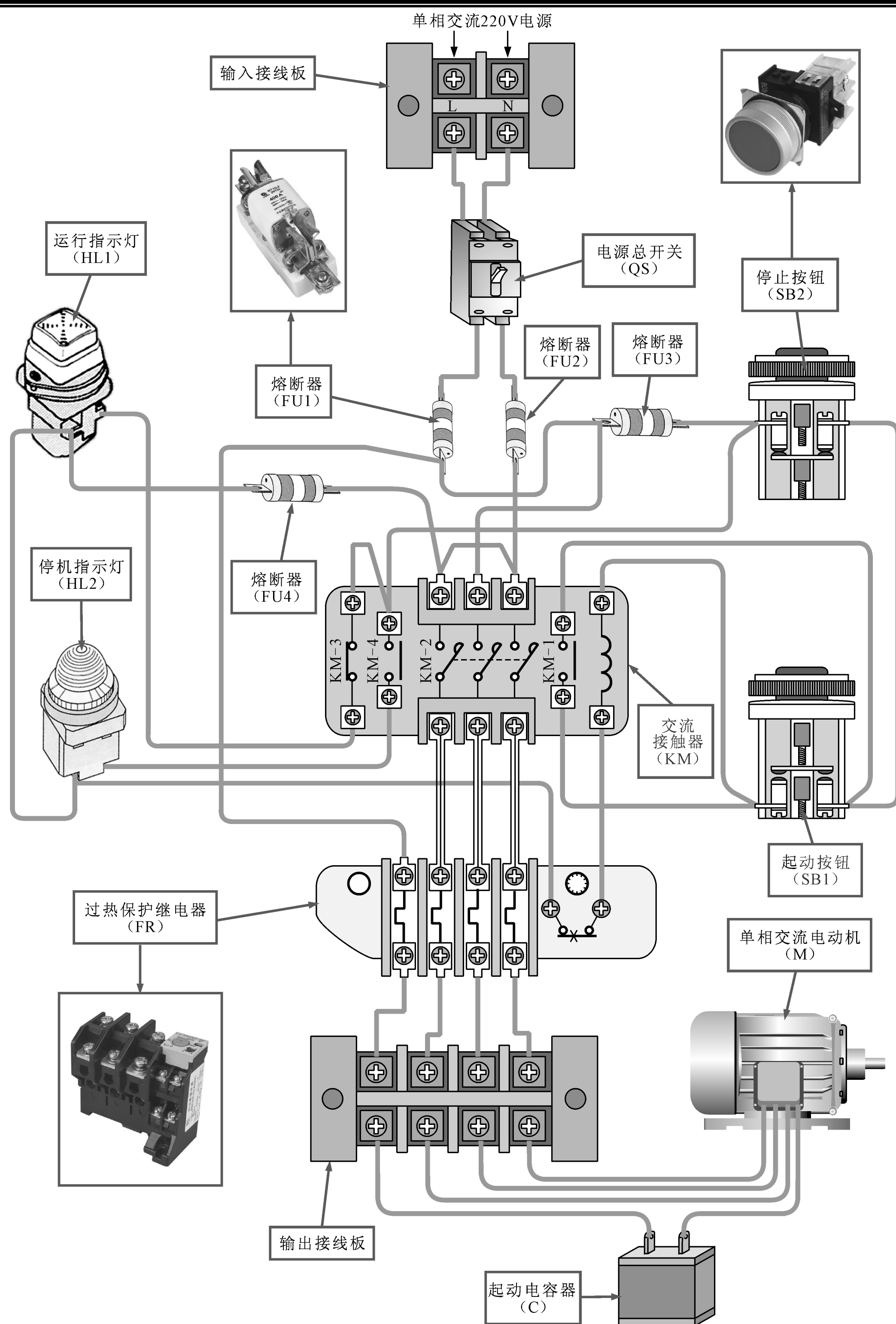


图 6-10　典型单相交流电动机控制电路的实物连接关系示意图

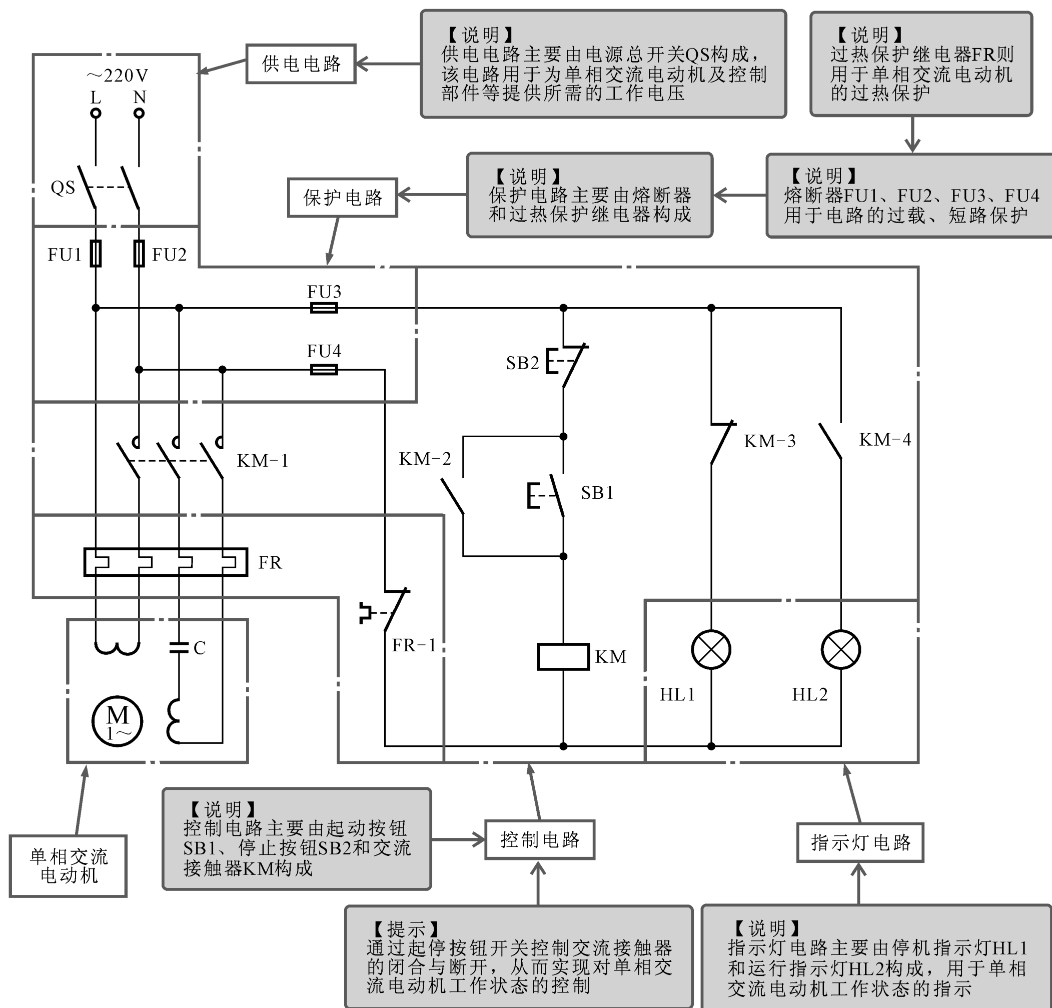


图 6-11　典型单相交流电动机控制电路的结构



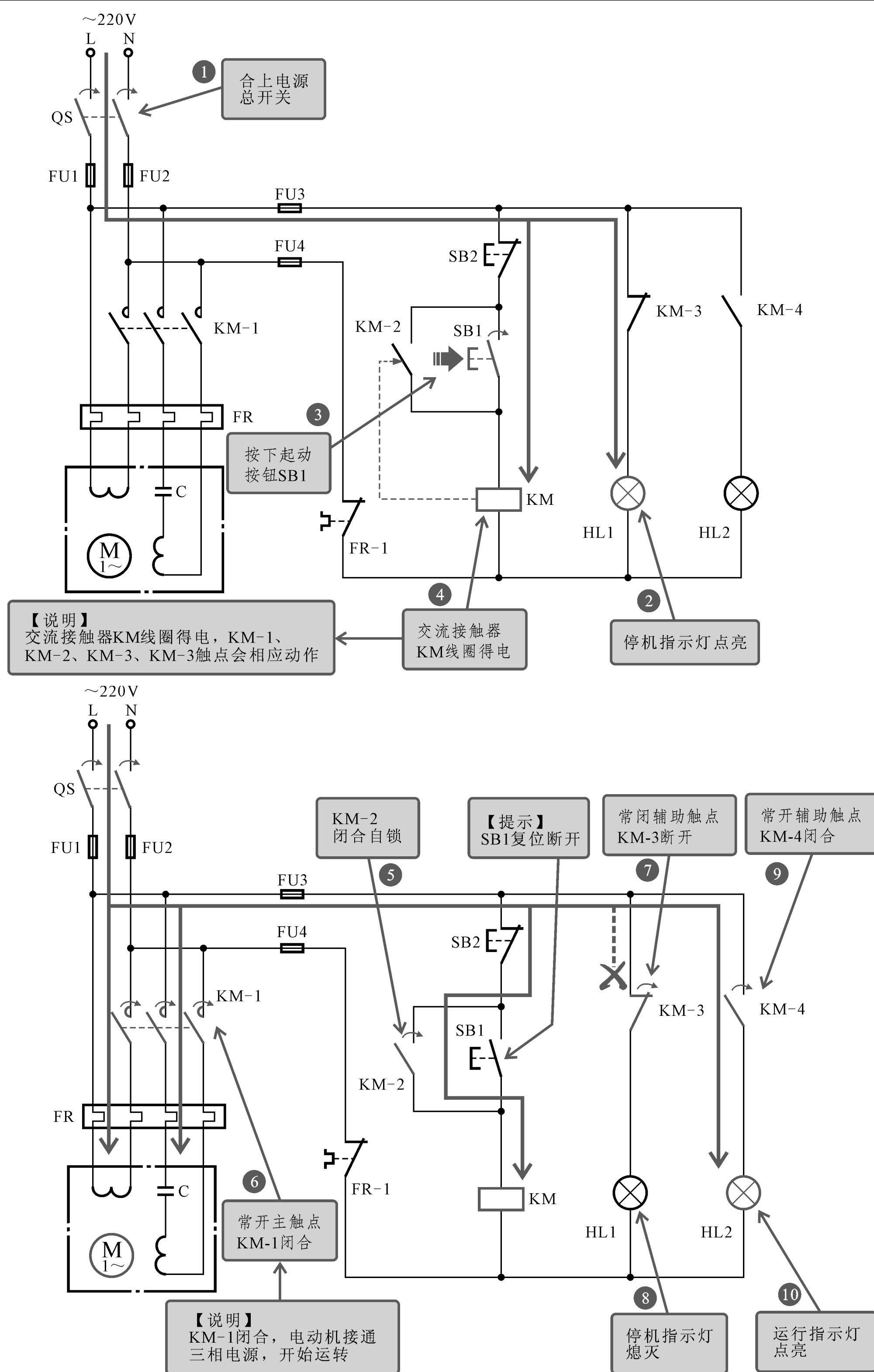
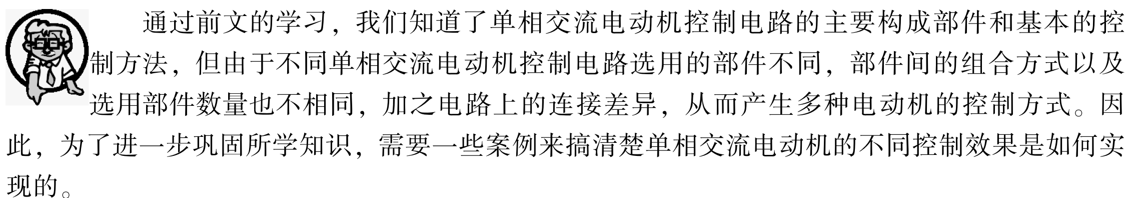


图 6-12　单相交流电动机的起动过程

6.2　这些单相交流电动机的控制效果是如何实现的



通过前文的学习，我们知道了单相交流电动机控制电路的主要构成部件和基本的控制方法，但由于不同单相交流电动机控制电路选用的部件不同，部件间的组合方式以及选用部件数量也不相同，加之电路上的连接差异，从而产生多种电动机的控制方式。因此，为了进一步巩固所学知识，需要一些案例来搞清楚单相交流电动机的不同控制效果是如何实现的。

6.2.1　采用点动开关对单相交流电动机进行的正反转控制是如何实现的

采用点动开关的单相交流电动机正反转控制电路是指通过改变辅助线圈相对于主线圈的相位，来对电动机的正反转工作状态进行控制的电路。该电路中的电动机属于单相电动机，在电动机的辅助线圈上接有电容器，以便产生起动力矩帮助电动机起动。当用户按下正转起动按钮，电动机便会正向运转；按下反转起动按钮，电动机便会反向运转；按下停止按钮，电动机便会停止运转。

图6-13所示为典型采用点动开关的单相交流电动机正反转控制电路。由图可知，采用点动开关的单相交流电动机正反转控制电路主要由供电电路、保护电路、控制电路、指示灯电路和电容式单相交流电动机等构成。

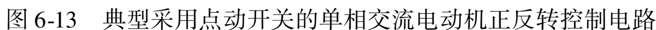


图6-13　典型采用点动开关的单相交流电动机正反转控制电路





【资料】

该电路中的正转起动按钮 SB1、正转交流接触器 KMF、正转指示灯 HL1 是电容式电动机正转控制的核心部件；反转起动按钮 SB2、反转交流接触器 KMR、反转指示灯 HL2 是电容式电动机反转控制的核心部件。

提问

起动电容器在该电路中主要起什么目的？





通常，起动电容器是一种用来起动单相异步电动机的交流电解电容器。单相电流不能产生旋转磁场，需要采取电容器来分相，目的是使两个绕组中的电流产生近于90°的相位差，以产生旋转磁场，使电动机旋转。

回答

1. 电动机正转起动过程

当需要电动机正转起动时，如图6-14所示，合上电源总开关QS，接通单相电源。按下正转起动按钮SB1，正转指示灯HL1点亮，指示电动机处于正向运转状态，正转交流接触器KMF线圈得电。

正转交流接触器KMF线圈得电后，常开辅助触点KMF-2闭合，实现自锁功能。常开主触点KMF-1闭合，电动机主线圈接通电源相序L、N，电流经起动电容器C和辅助线圈形成回路，电动机正向起动运转。常闭辅助触点KMF-3断开，防止反转交流接触器KMR线圈得电。

2. 电动机正转停机过程

当需要电动机停机时，按下停止按钮SB3，正转指示灯HL1失电，HL1熄灭。正转交流接触器KMF线圈失电，常开辅助触点KMF-2复位断开，解除自锁功能。常开主触点KMF-1复位断开，切断电动机供电电源，电动机停止正向运转。常闭辅助触点KMF-3复位闭合，为反转起动做好准备。

3. 电动机反转起动过程

当需要电动机反转起动时，如图6-15所示，按下反转起动按钮SB2，反转指示灯HL2点亮，指示电动机处于反向运转状态，反转交流接触器KMR线圈得电。

反转交流接触器KMR线圈得电后，常开辅助触点KMR-2闭合，实现自锁功能。常开主触点KMR-1闭合，电动机主线圈接通电源相序L、N，电流经辅助线圈和起动电容器C形成回路，电动机反向起动运转。常闭辅助触点KMR-3断开，防止正转交流接触器KMF线圈得电。

4. 电动机反转停机过程

当需要电动机反转停机时，按下停止按钮SB3。反转指示灯HL2失电，HL2熄灭。反转交流接触器KMR线圈失电。常开辅助触点KMR-2复位断开，解除自锁功能。常开主触点KMR-1复位断开，切断电动机供电电源，电动机停止反向运转。常闭辅助触点KMR-3复位闭合，为正转起动做好准备。

6.2.2 采用限位开关对单相交流电动机进行的控制是如何实现的



带有限位开关的单相交流电动机控制电路是指通过限位开关对电动机的运转状态进行控制的电路。当电动机带动的机械部件运动到某一位置，触碰到限位开关时，限位开关便会断开供电电路，使电动机停止。

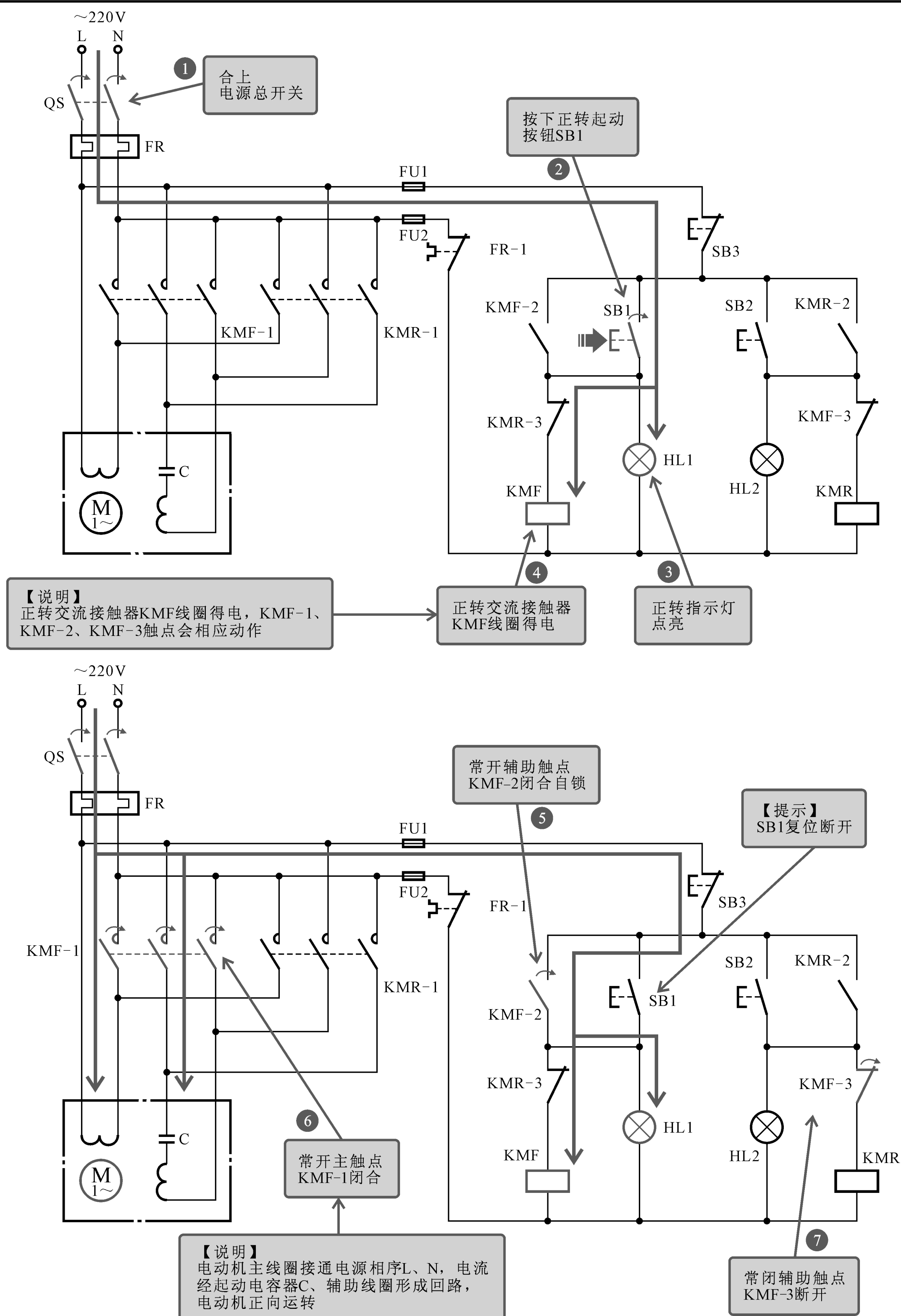


图 6-14　电动机正转起动过程



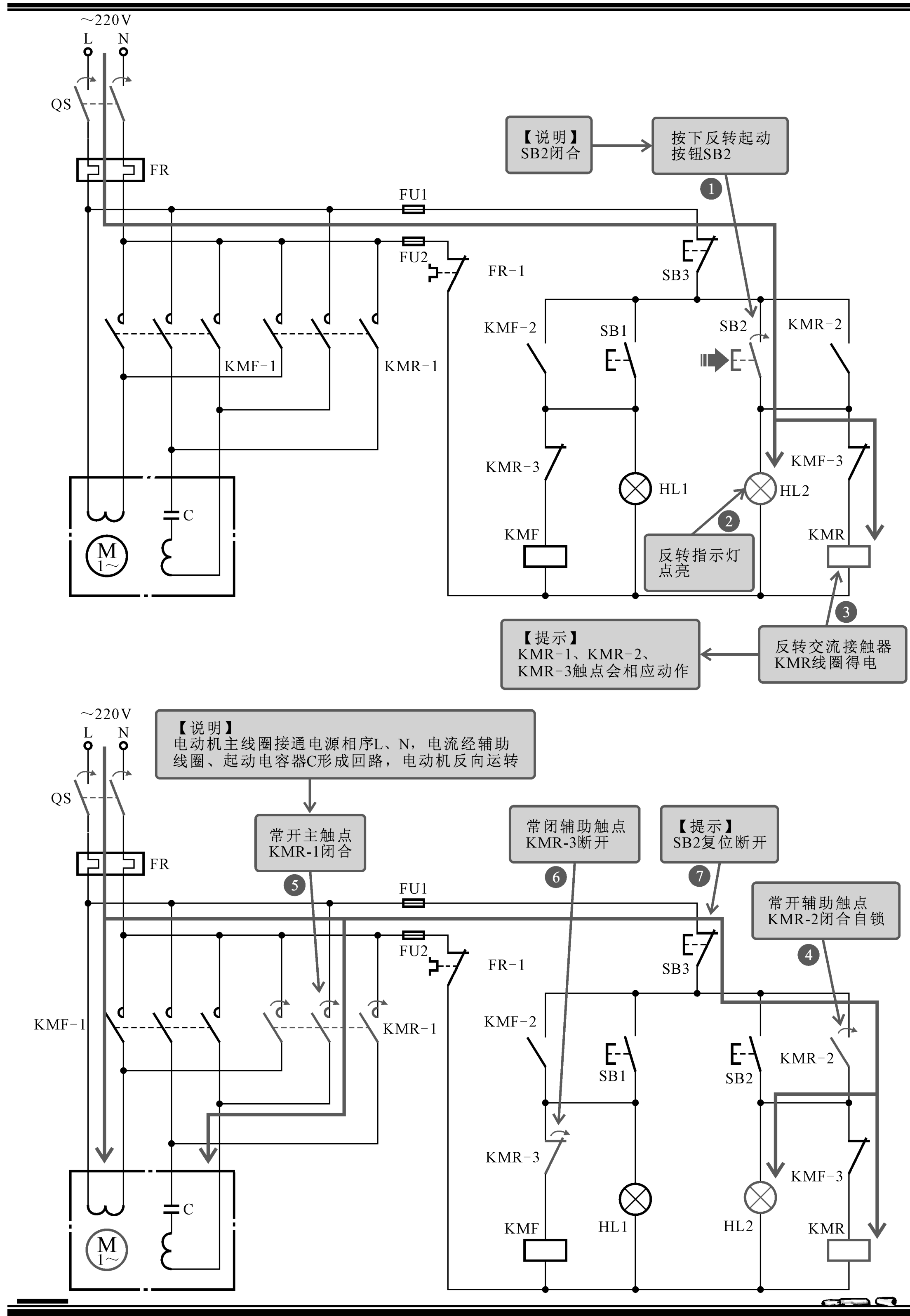


图 6-15　电动机反转起动过程

图 6-16 所示为典型带有限位开关的单相交流电动机控制电路。由图可知，带有限位开关的单相交流电动机控制电路主要由供电电路、保护电路、控制电路和单相交流电动机等构成。

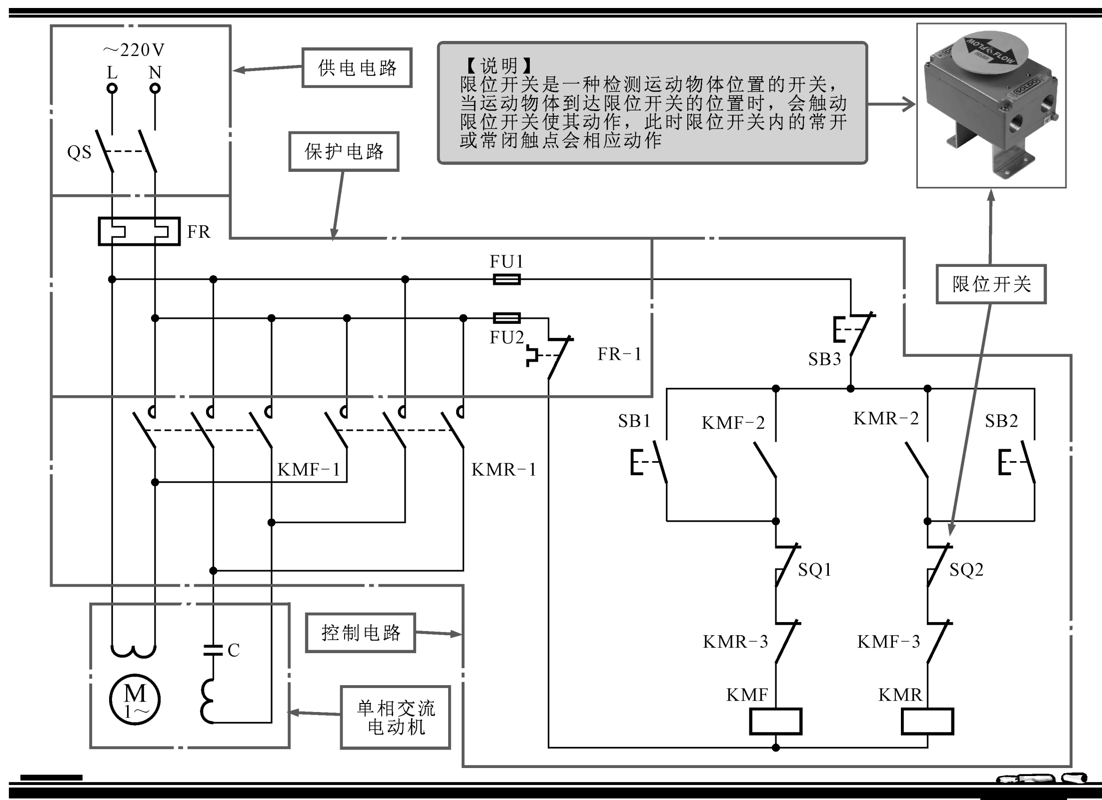


图 6-16 典型带有限位开关的单相交流电动机控制电路



【资料】

该电路中的正转起动按钮 SB1、正转交流接触器 KMF、正转限位开关 SQ1 是电动机正转控制的核心部件；反转起动按钮 SB2、反转交流接触器 KMR、反转限位开关 SQ2 是电动机反转控制的核心部件。

1. 电动机正转起动过程

当需要电动机正转起动时，如图 6-17 所示，合上电源总开关 QS，接通单相电源。按下正转起动按钮 SB1，正转交流接触器 KMF 线圈得电。

正转交流接触器 KMF 线圈得电后，常开辅助触点 KMF-2 闭合，实现自锁功能。常开主触点 KMF-1 闭合，电动机主线圈接通电源相序 L、N，电流经起动电容器 C 和辅助线圈形成回路，电动机正向起动运转。常闭辅助触点 KMF-3 断开，防止反转交流接触器 KMR 线圈得电。

2. 电动机正转停机过程

当电动机驱动的对象到达正转限位开关 SQ1 限定的位置时，触动正转限位开关 SQ1，其常闭触点断开，正转交流接触器 KMF 线圈失电，如图 6-18 所示。常开辅助触点 KMF-2 复位断开，解除自锁功能。常开主触点 KMF-1 复位断开，切断电动机供电电源，电动机停止正向运转。常闭辅助触点 KMF-3 复位闭合，为反转起动作好准备。



~220V
L N
QS
FR
❶ 合上电源总开关
❷ 按下正转起动按钮SB1
FU1
FU2
FR-1
SB3
SB1
KMF-2
KMR-2
SB2
KMF-1
KMR-1
SQ1
SQ2
【提示】SB1闭合
KMR-3
KMF-3
KMF
KMR
C
M 1~
❸ 正转交流接触器KMF线圈得电
【说明】KMF-1、KMF-2、KMF-3触点会相应动作

~220V
L N
【说明】电动机主线圈接通电源相序L、N，电流经起动电容C、辅助线圈形成回路，电动机正向运转
QS
FR
❺ 常开主触点KMF-1闭合
❹ 常开辅助触点KMF-2闭合自锁
❻ 常闭辅助触点KMF-3断开
FU1
FU2
FR-1
SB3
KMF-1
KMF-2
KMR-2
SB1
SB2
KMR-1
SQ1
SQ2
KMR-3
KMF-3
【提示】SB1复位断开
KMF
KMR
C
M 1~

图 6-17　电动机正转起动过程

同样，若在电动机正转过程中按下停止按钮 SB3，其常闭触点断开，正转交流接触器 KMF 线圈失电，常开主触点 KMF-1 复位断开，电动机停止正向运转。

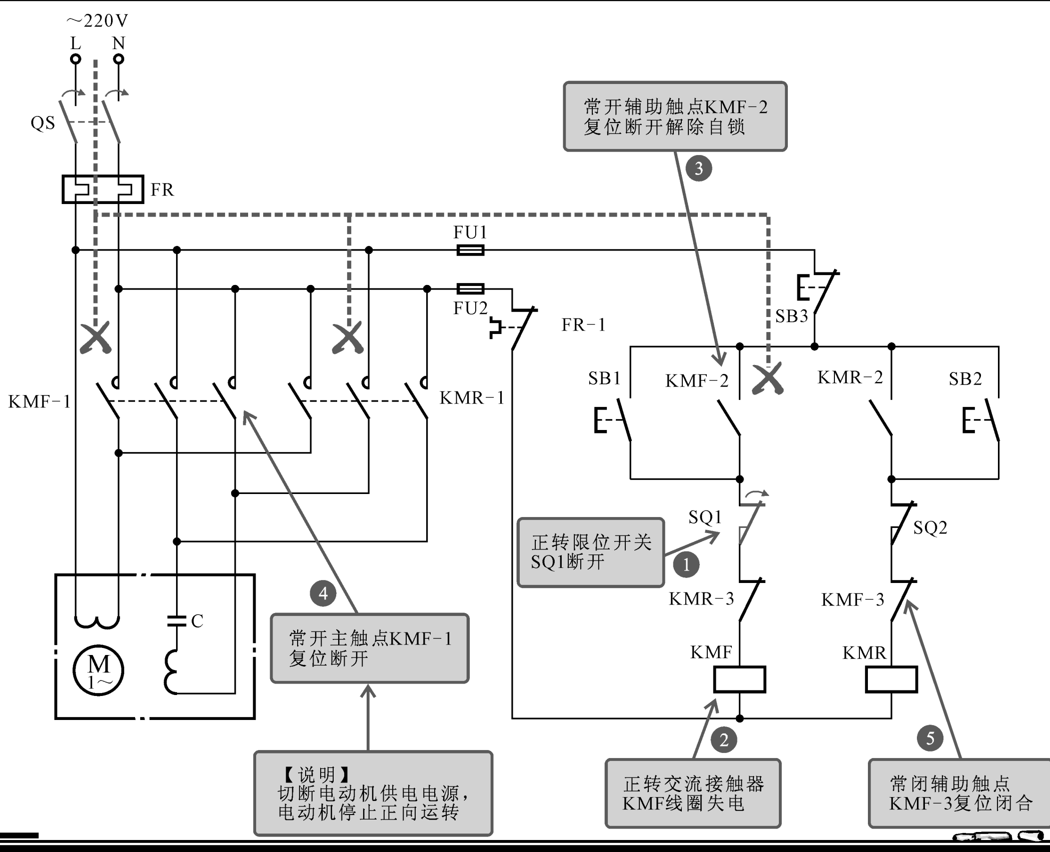


图 6-18　电动机正转停机过程

3. 电动机反转起动过程

当需要电动机反转起动时，如图 6-19 所示，按下反转起动按钮 SB2，反转交流接触器 KMR 线圈得电。

反转交流接触器 KMR 线圈得电，常开辅助触点 KMR-2 闭合，实现自锁功能。常开主触点 KMR-1 闭合，电动机主线圈接通电源相序 L、N，电流经辅助线圈和起动电容器 C 形成回路，电动机反向起动运转。常闭辅助触点 KMR-3 断开，防止正转交流接触器 KMF 线圈得电。

4. 电动机反转停机过程

当电动机驱动的对象到达反转限位开关 SQ2 限定的位置时，触动反转限位开关 SQ2，常闭触点断开，反转交流接触器 KMR 线圈失电。常开辅助触点 KMR-2 复位断开，解除自锁功能。常开主触点 KMR-1 复位断开，切断电动机供电电源，电动机停止反向运转。常闭辅助触点 KMR-3 复位闭合，为正转起动作好准备。

同样，若在电动机反转过程中按下停止按钮 SB3，其常闭触点断开，反转交流接触器 KMR 线圈失电，常开主触点 KMR-1 复位断开，电动机停止反向运转。



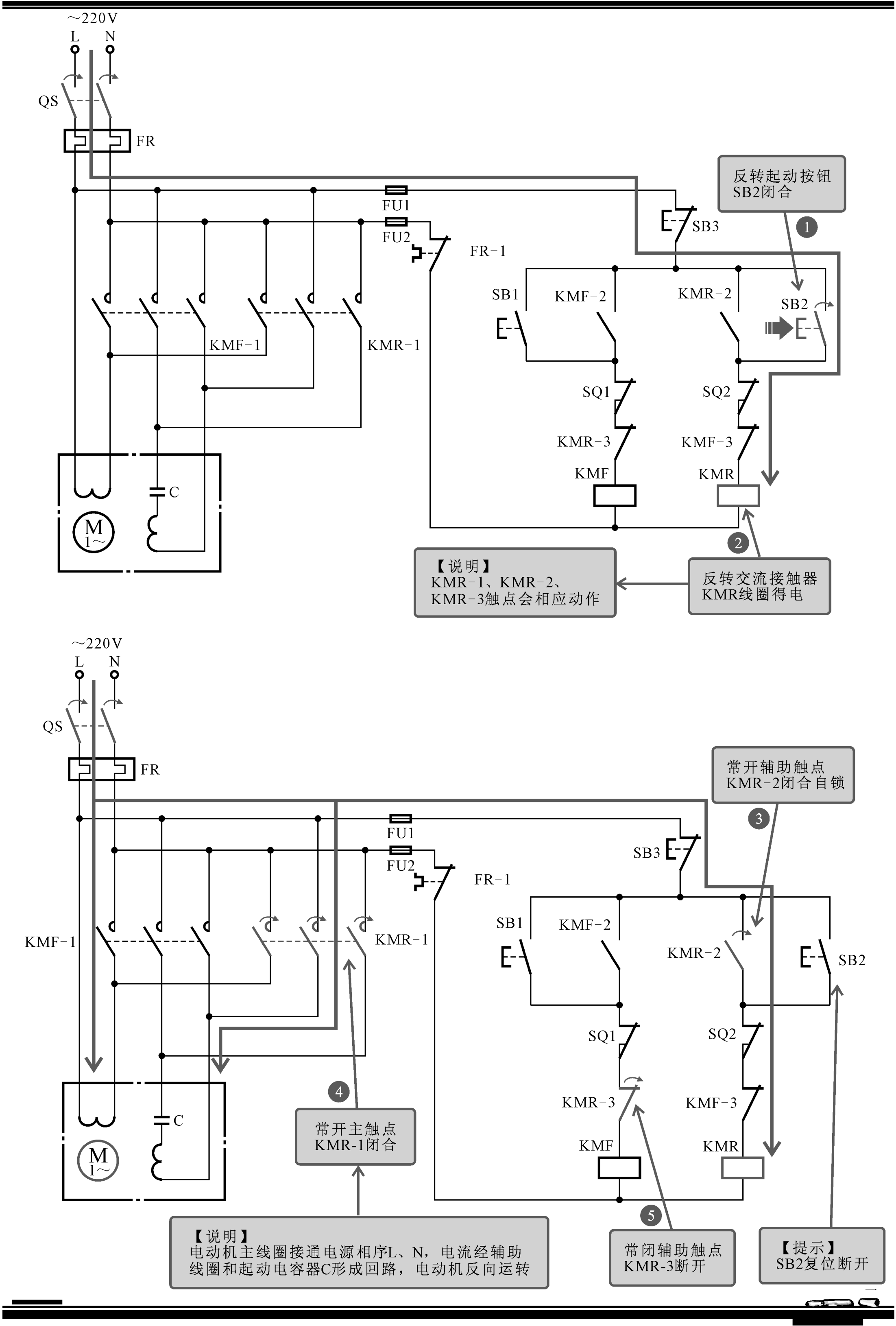


图6-19 电动机反转起动过程

6.2.3 采用旋转开关对单相交流电动机进行的正反转控制是如何实现的



采用旋转开关的单相交流电动机正反转控制电路是指通过改变辅助线圈相对于主线圈的相位，来对电动机的正反转工作状态进行控制的电路。当按下起动按钮，单相交流电动机开始正向运转；当调整旋转开关后，单相交流电动机便可反向运转。

图6-20所示为典型采用旋转开关的单相交流电动机的正反转控制电路。采用旋转开关的单相交流电动机正反转控制电路主要由供电电路、保护电路、控制电路和单相交流电动机等构成。

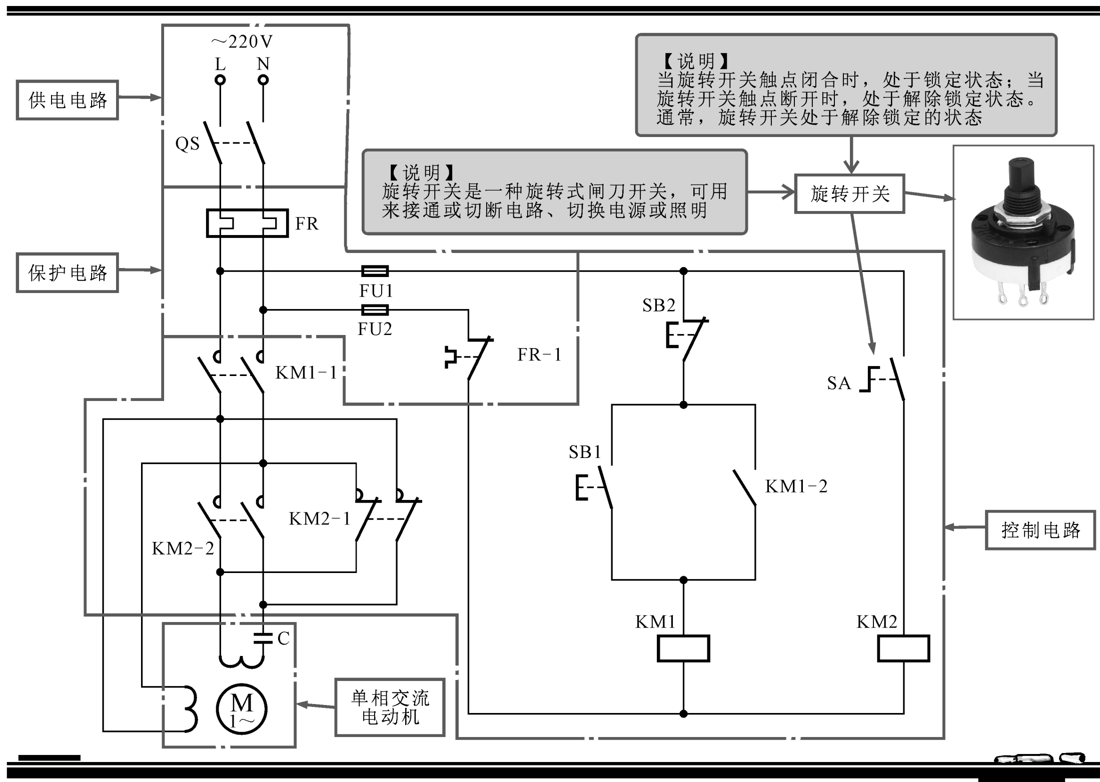


图6-20 典型采用旋转开关的单相交流电动机的正反转控制电路



【资料】

该电路中的起动按钮SB1、停止按钮SB2、旋转开关SA、交流接触器KM1、KM2是电动机正反转控制的核心部件。

1. 电动机正转起动过程

当需要电动机正转起动时，如图6-21所示，合上电源总开关QS，接通单相电源。按下起动按钮SB1，交流接触器KM1线圈得电。

交流接触器KM1线圈得电，常开辅助触点KM1-2闭合，实现自锁功能。常开主触点KM1-1闭合，电动机主线圈接通电源相序L、N，电流经起动电容器C和辅助线圈形成回路，电动机正向起动运转。



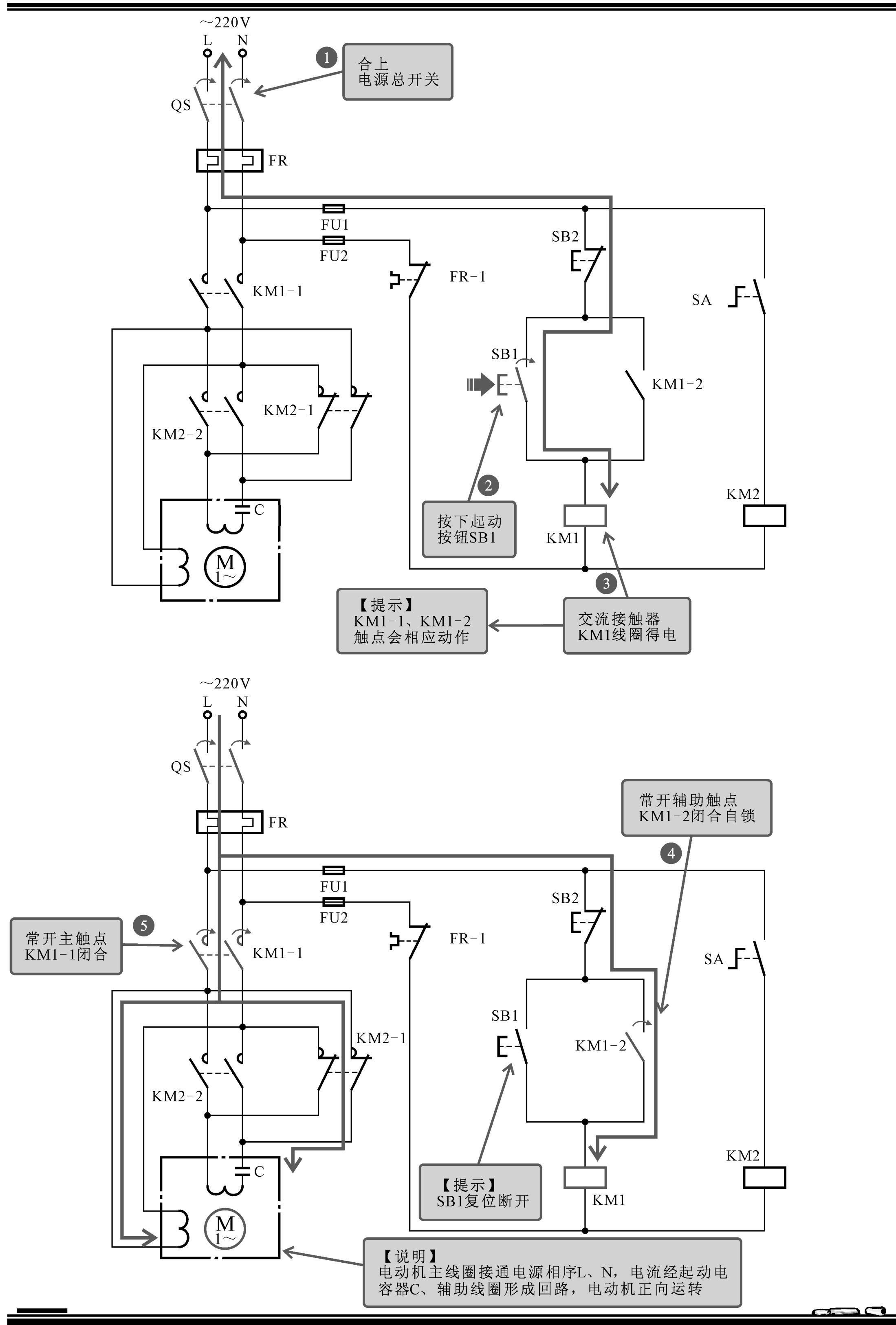


图 6-21　电动机正转起动过程

2. 电动机反转运行过程

当需要电动机反转运行时，如图 6-22 所示，调整旋转开关 SA，其内部常开触点闭合。交流接触器 KM2 线圈得电，其常闭触点 KM2-1 断开，常开触点 KM2-2 闭合。电动机主线圈接通电源相序 L、N，电流经辅助线圈和起动电容器 C 形成回路，电动机开始反向运转。

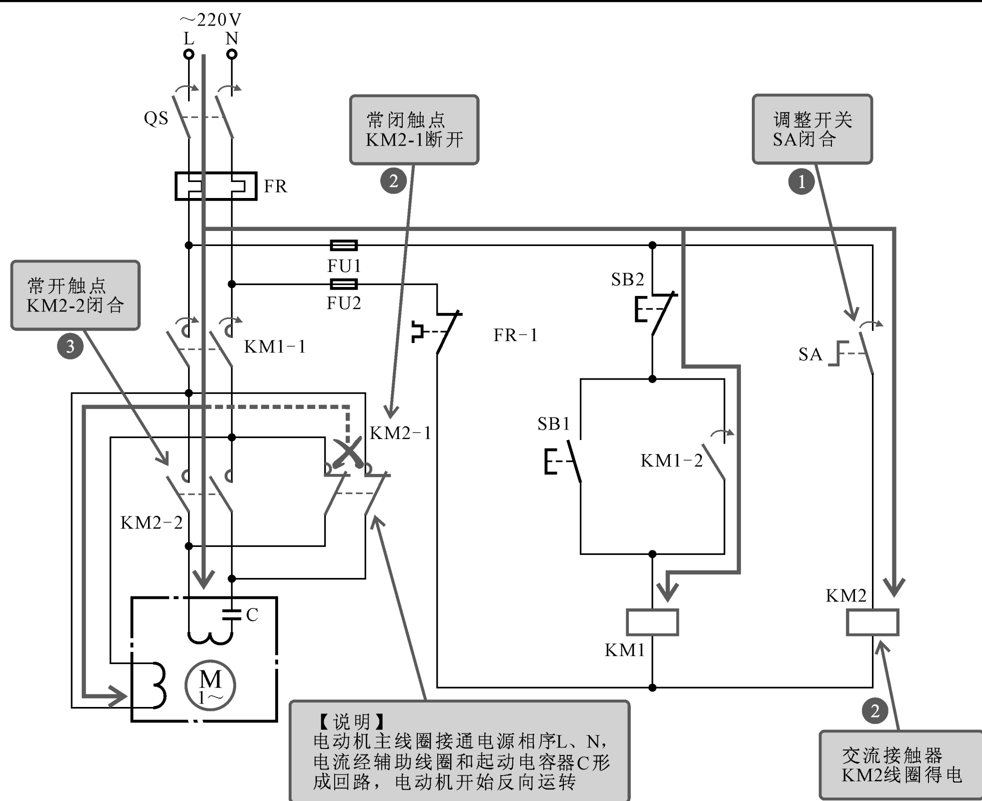


图 6-22　电动机反转运行过程

3. 电动机停机过程

当需要电动机停机时，按下停止按钮 SB2，交流接触器 KM1 线圈失电。常开辅助触点 KM1-2 复位断开，解除自锁功能。常开主触点 KM1-1 复位断开，切断电动机供电电源，电动机停止运转。

第 7 章 通过案例搞清楚三相交流电动机的控制电路



现在，开始进入第 7 章的学习，本章我们要了解常用三相交流电动机控制电路的电气控制过程。在电气控制技术应用领域，三相交流电动机控制电路有着广泛的应用。目前很多三相交流电动机控制电路都采用现代化的电气控制技术，不同种类的电气部件组合，不同方式的电气设备连接关系，导致三相交流电动机控制电路的功能多种多样。

为了能够在短时间内搞清三相交流电动机控制电路的电气控制，我们依托大量实际应用案例，从三相交流电动机控制电路的电路构成入手，找到三相交流电动机控制电路中的主要组成部件，建立其相互连接关系，进而对三相交流电动机控制电路的工作方式进行分析，从一个个控制过程中，梳理出三相交流电动机控制电路的控制过程。

相信通过对下面精心筛选的经典应用案例的分析，大家很快就能搞清三相交流电动机控制电路的电气控制特色。

7.1 了解一下三相交流电动机的控制过程





本节主要是对三相交流电动机的控制过程进行了解。首先需要介绍不同的控制电路需要用到的部件有哪些，然后再将这些部件进行关联后，分析对三相交流电动机的控制是怎么实现的。

7.1.1 看看三相交流电动机控制电路中有哪些部件



三相交流电动机控制电路可以实现的功能较多，如三相交流电动机的起动、运转、变速、制动、正转、反转和停机等，无论是实现怎样的功能，均是通过相关控制部件、功能部件以及三相交流电动机以不同的连接方式实现的。图 7-1 所示为典型的三相交流电动机控制电路。

由图 7-1 可知，三相交流电动机控制电路是由电源总开关、熔断器、过热保护继电器、交流接触器、按钮（起动/停止）、指示灯以及三相交流电动机等构成的，这些器件通过连接导线进行连接，构成了三相交流电动机控制电路，如图 7-2 所示。

7.1.2 怎样做到对三相交流电动机的控制



三相交流电动机的控制过程需要有控制部件，即依靠起动按钮、停止按钮、交流接触器等控制部件来对三相交流电动机进行控制。图 7-3 所示为典型三相交流电动机现场、远程控制电路的结构。

由图 7-3 可知，该三相交流电动机整个电路可以划分为供电电路、保护电路、控制电路、指示灯电路等，每个电路都有着非常重要的作用。通过各电路间相互协调的配合，最终可实现三相

交流电动机的起动、停机、远程起动以及远程停机控制。下面我们就分别学习三相交流电动机是怎样做到这些控制操作的。

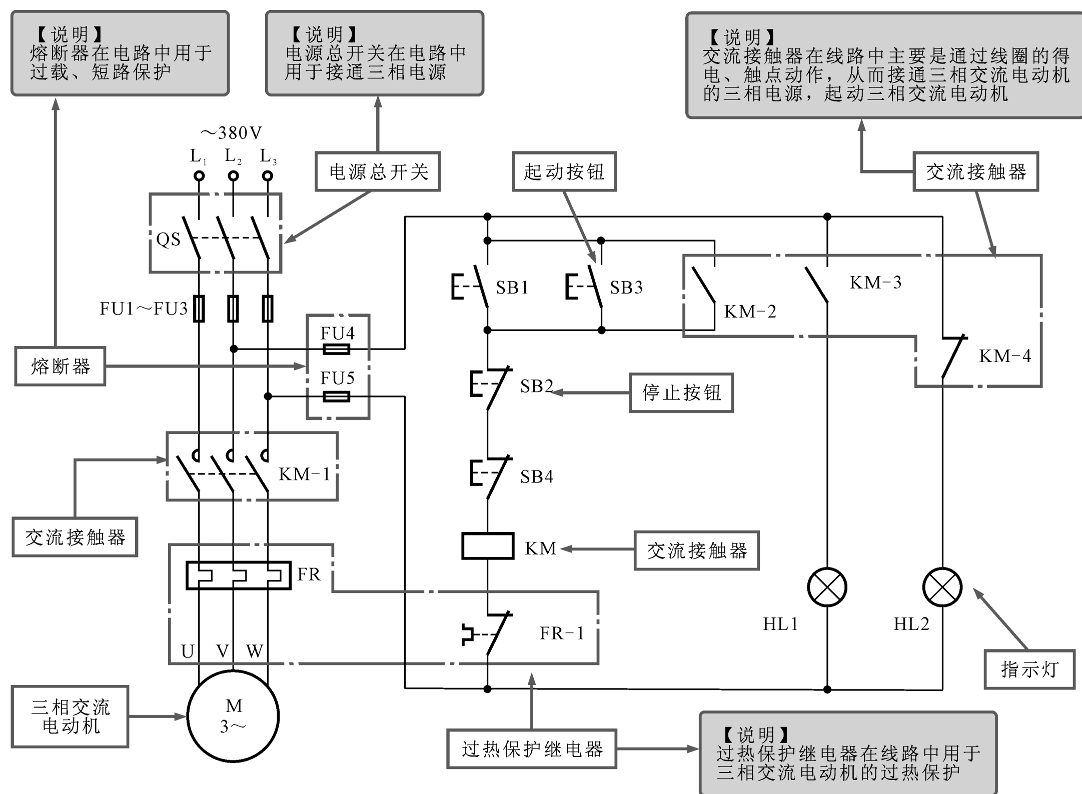


图 7-1　典型的三相交流电动机控制电路

1. 三相交流电动机的现场起动过程

如图 7-4 所示，合上电源总开关 QS，接通三相电源，电源经交流接触器的常闭辅助触点 KM-4 为停机指示灯 HL2 供电，HL2 点亮，表明三相交流电动机处于停机状态。

起动三相交流电动机时，按下现场起动按钮 SB1，交流接触器 KM 线圈得电，交流接触器 KM 的常开辅助触点 KM-2 闭合，实现自锁功能，常开主触点 KM-1 闭合，三相交流电动机接通三相电源，开始起动运转。

常开辅助触点 KM-3 闭合，运行指示灯 HL1 点亮，指示三相交流电动机处于工作状态。常闭辅助触点 KM-4 断开，切断停机指示灯 HL2 的供电电源，HL2 熄灭。

2. 三相交流电动机的现场停机过程

当需要三相交流电动机停机时，按下现场停止按钮 SB2，如图 7-5 所示，此时，交流接触器 KM 线圈失电，其常开辅助触点 KM-2 复位断开，解除自锁功能。

常开主触点 KM-1 复位断开，切断三相交流电动机的供电电源，三相交流电动机停止运转。常开辅助触点 KM-3 复位断开，切断运行指示灯 HL1 的供电电源，HL1 熄灭。

常闭辅助触点 KM-4 复位闭合，停机指示灯 HL2 点亮，指示三相交流电动机处于停机状态。

3. 三相交流电动机的远程起动过程

三相交流电动机控制电路还可以实现远程起动操作，即在远地设置一个起动开关 SB3，使之



与现场起动开关 SB1 并联。

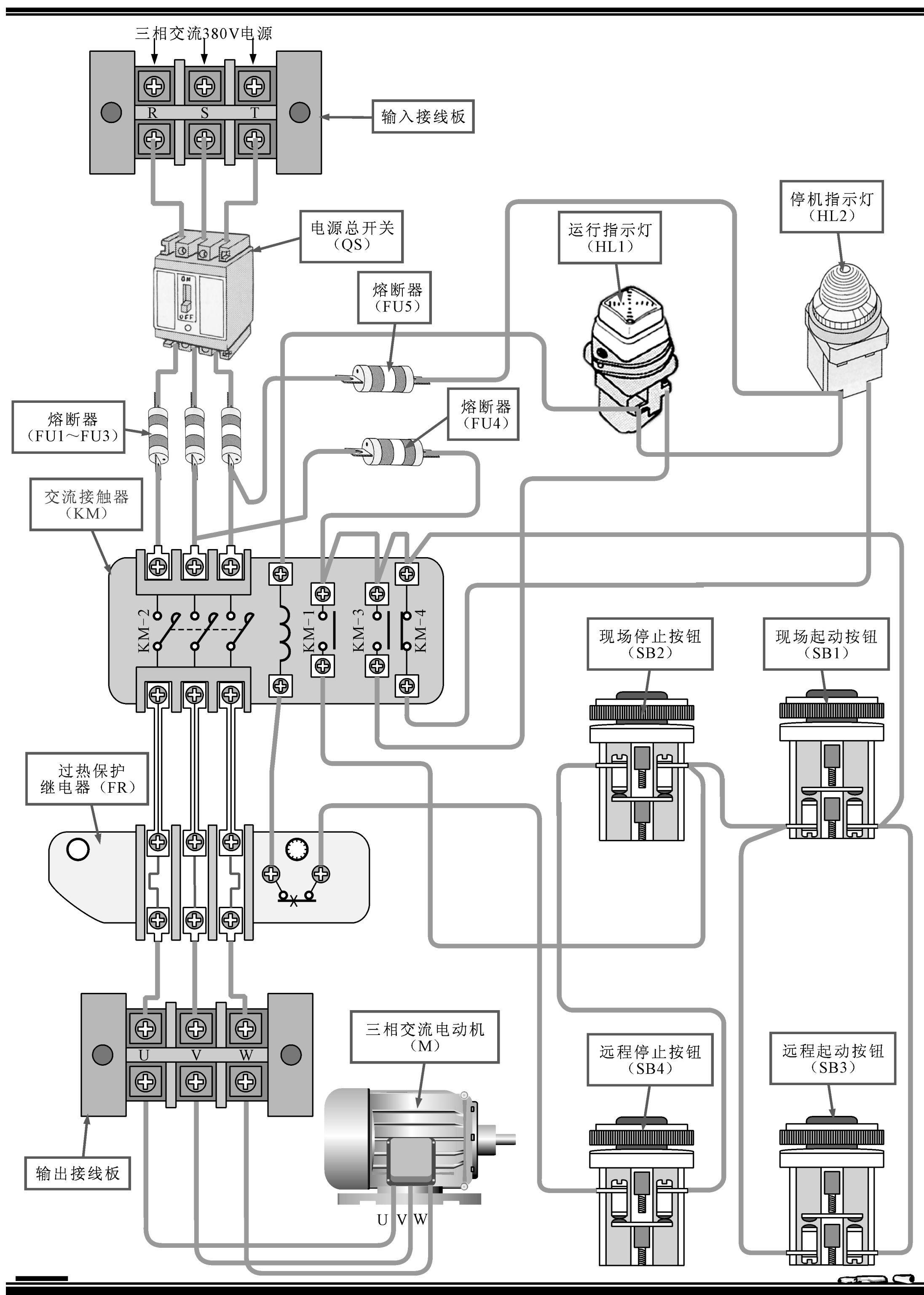


图 7-2　典型三相交流电动机控制电路的主要部件及实物连接关系

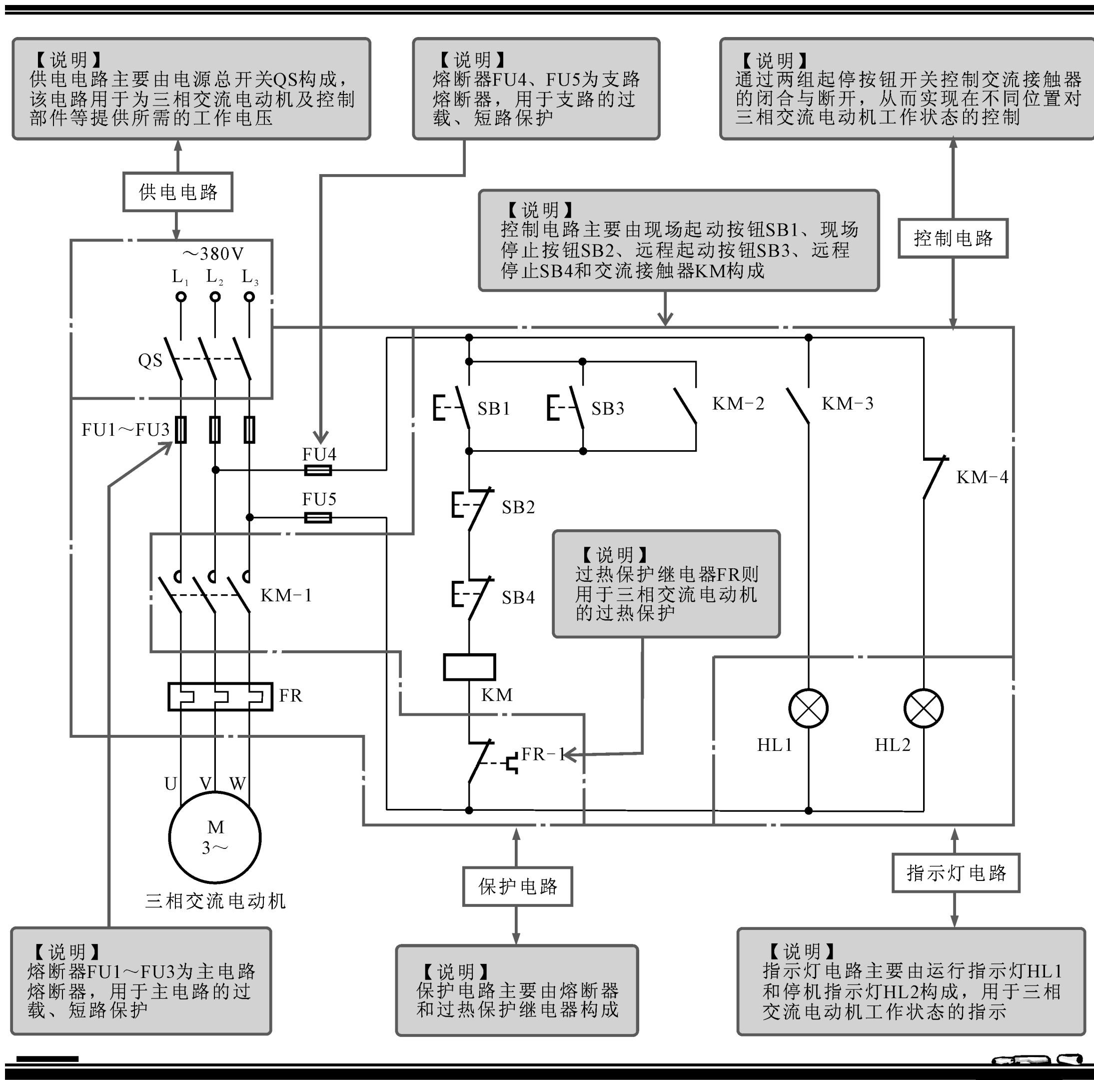


图 7-3　典型三相交流电动机现场、远程控制电路的结构

当按下远程起动按钮 SB3 时，其动作与现场起动的动作相同，即交流接触器 KM 线圈得电，其常开辅助触点 KM-2 闭合，实现自锁功能，此时常开主触点 KM-1 闭合，三相交流电动机接通三相电源，开始起动运转。

常开辅助触点 KM-3 闭合，运行指示灯 HL1 点亮，指示三相交流电动机处于工作状态。

常闭辅助触点 KM-4 断开，切断停机指示灯 HL2 的供电电源，HL2 熄灭。

4. 三相交流电动机的远程停机过程

若是需要对三相交流电动机进行远程停机操作，需要设置一远程停止开关 SB4，并使之与现场停机开关 SB2 串联。当按下远程停止按钮 SB4 时，交流接触器 KM 线圈失电，其常开辅助触点 KM-2 复位断开，解除自锁功能。

常开主触点 KM-1 复位断开，切断三相交流电动机的供电电源，三相交流电动机停止运转。常开辅助触点 KM-3 复位断开，切断运行指示灯 HL1 的供电电源，HL1 熄灭。

常闭辅助触点 KM-4 复位闭合，停机指示灯 HL2 点亮，指示三相交流电动机处于停机状态。



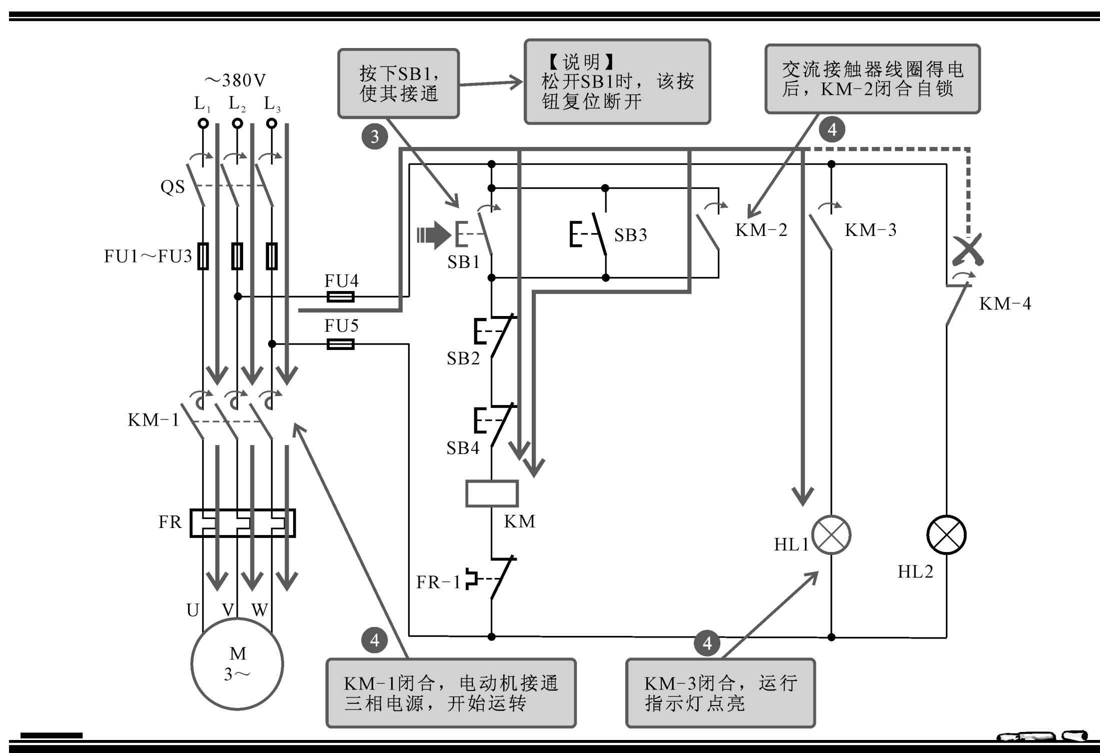


图 7-4　三相交流电动机的现场起动过程

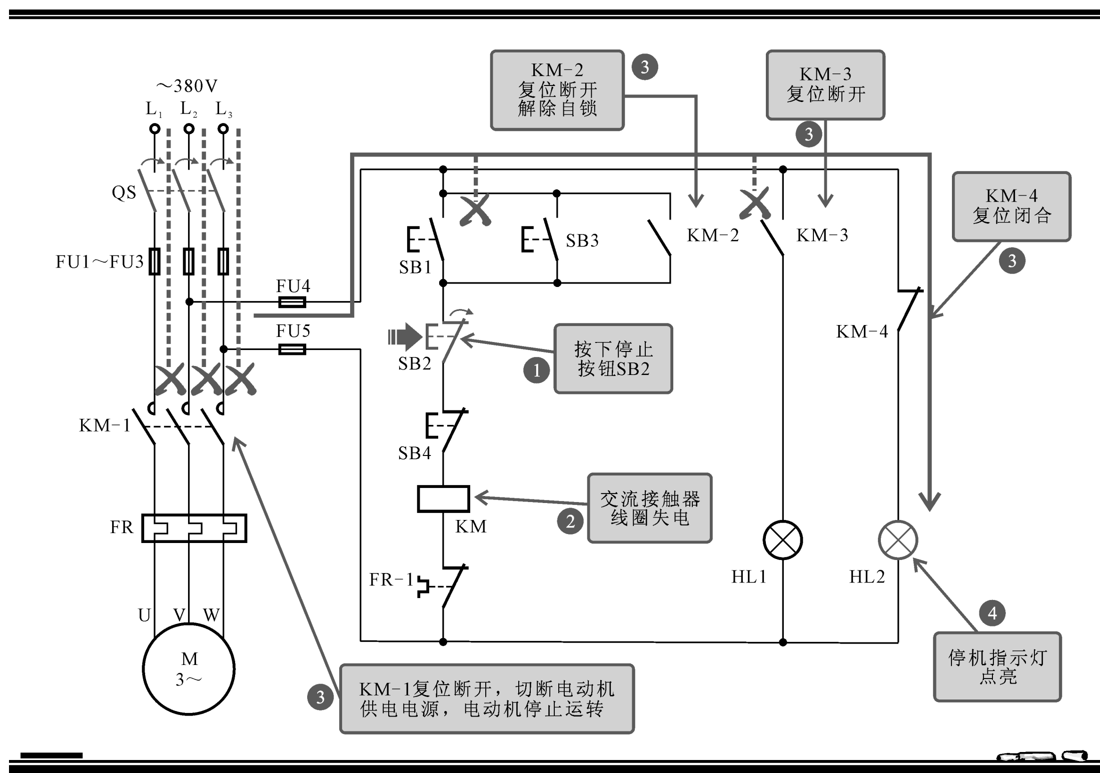


图 7-5　三相交流电动机的现场停机过程

7.2 这些三相交流电动机的控制效果是如何实现的





通过前面的学习，我们知道了三相交流电动机控制电路的主要构成部件和基本的控制方法，为了进一步对巩固所学知识，下面通过一些案例来搞清楚三相交流电动机的不同控制方式是如何实现的。

7.2.1 Y-△减压起动的三相交流电动机控制是如何实现的



三相交流电动机Y-△减压起动控制电路，是指三相交流电动机起动时，由电路控制三相交流电动机定子绕组先连接成Y方式，进入减压起动状态，待转速达到一定值后，再由电路控制将三相交流电动机的定子绕组换接成△，此后三相交流电动机进入全电压正常运行状态。

当三相交流电动机采用Y连接时，三相交流电动机每相承受的电压均为220V；当三相交流电动机采用△连接时，三相交流电动机每相绕组承受的电压为380V，如图7-6所示。

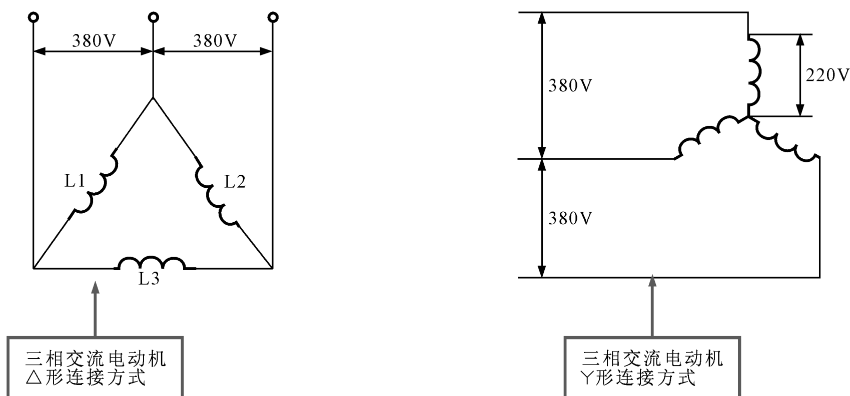


图7-6 三相交流电动机的连接形式

图7-7所示为典型三相交流电动机的Y-△减压起动控制电路，由图可知，该控制电路主要是由供电电路、保护电路、控制电路以及三相交流电动机构成的。

其中，起动按钮SB2、停止按钮SB1、交流接触器KM1/KMY/KM△、时间继电器KT为三相交流电动机Y-△减压起动控制的核心部件。

1. 三相交流电动机的减压起动过程

使用三相交流电动机的Y-△减压起动控制电路进行减压起动时，首先要合上电源总开关QS，接通三相电源，按下起动按钮SB2，此时交流接触器KM1线圈和KMY线圈得电，相应的触点进行动作；同时时间继电器KT线圈得电（按预先设定的减压起动运转时间），进入减压起动计时状态。如图7-8所示，当交流接触器KM1线圈得电，常开辅助触点KM1-2闭合自锁。常开主触点KM1-1闭合，为三相交流电动机的起动做好准备。交流接触器KMY线圈得电，常开主触点KMY-1闭合，三相交流电动机以Y方式接通电源，减压起动运转。常闭辅助触点KMY-2断开，防止交流接触器KM△线圈得电，起联锁保护作用。



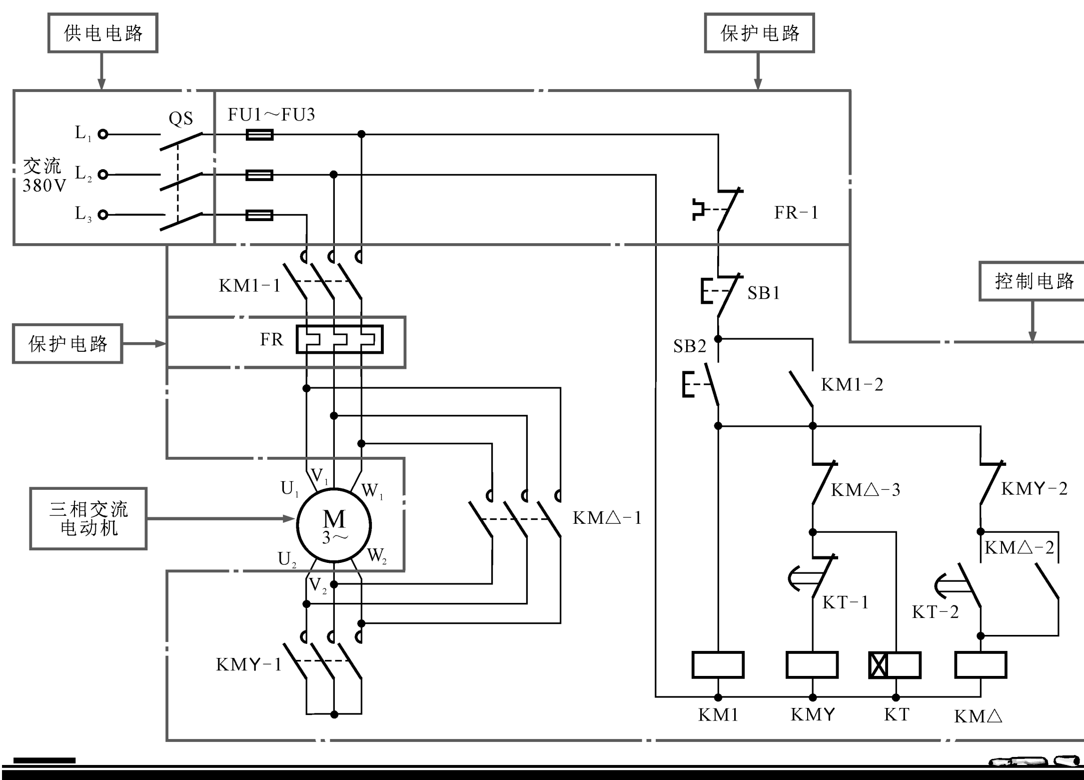


图 7-7　典型三相交流电动机的Y-△减压起动控制电路

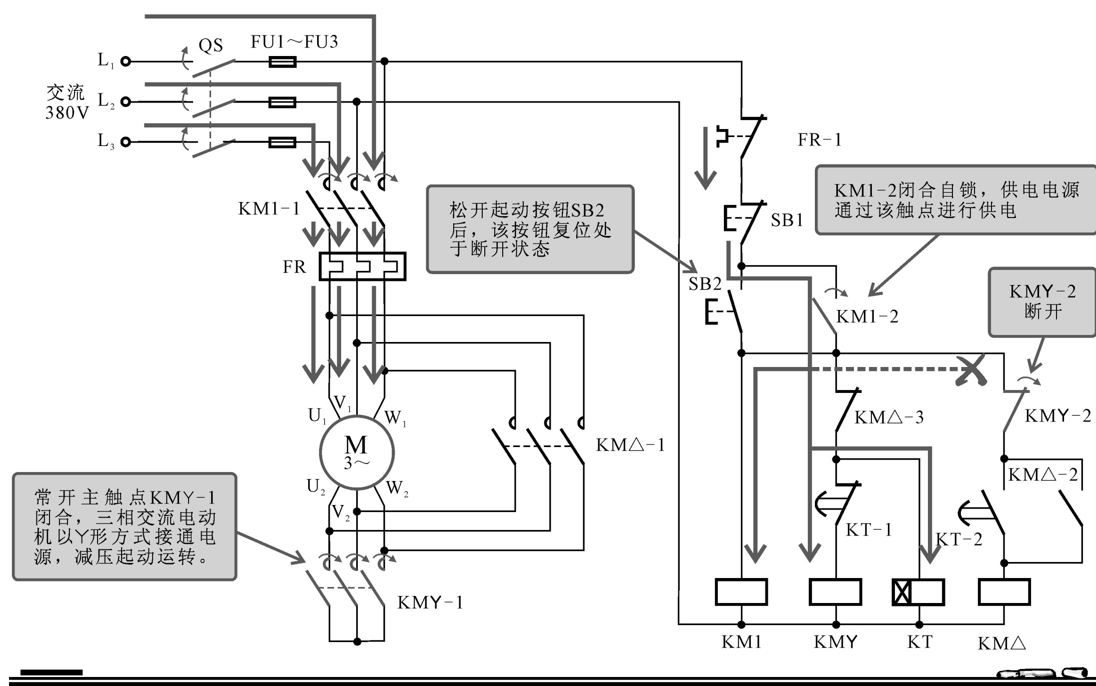


图 7-8　三相交流电动机的减压起动（Y连接方式）控制过程

2. 三相交流电动机的全电压起动过程

通过以上的学习可知，在该控制电路中安装有时间继电器，主要是控制在一定的时间内，三相交流电动机可自行进入到△运转。

如图 7-9 所示，时间继电器 KT 进入减压起动计时状态后，当达到预先设定的减压起动运转时间时，常闭触点 KT-1 断开，常开触点 KT-2 闭合。

交流接触器 KM丫线圈失电，触点全部复位，KM丫-2 复位闭合。KM△线圈得电，触点相应动作。

常开主触点 KM丫-1 复位断开，常开主触点 KM△-1 闭合，三相交流电动机由丫转为△运转。

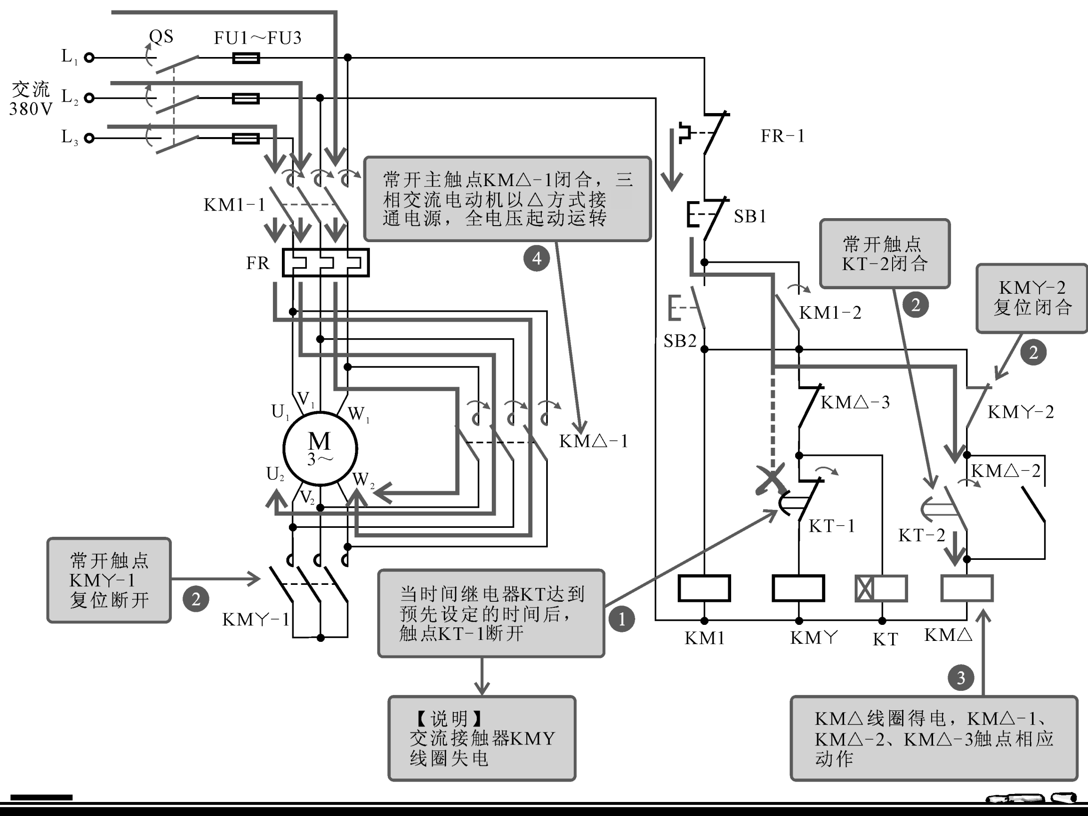


图 7-9　三相交流电动机的全电压起动（△连接方式）控制过程

3. 三相交流电动机的停机过程

若需要对三相交流电动机丫-△减压起动控制电路进行停机操作时，需要按下停止按钮 SB1，如图 7-10 所示，此时交流接触器 KM1 线圈失电，交流接触器的相关触点动作：

常开辅助触点 KM1-2 复位断开，解除自锁功能；

常开主触点 KM1-1 复位断开，切断三相交流电动机的供电电源，三相交流电动机停止运转；

同时交流接触器 KM△线圈失电；

常开辅助触点 KM△-2 复位断开，解除自锁功能；

常开主触点 KM△-1 复位断开，解除三相交流电动机定子绕组的△连接方式；

常闭辅助触点 KM△-3 复位闭合，为下一次减压起动做好准备。

图 7-10　三相交流电动机的停机控制过程

7.2.2　采用旋转开关对三相交流电动机进行的点动、连续控制是如何实现的

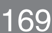


使用旋转开关控制的三相交流电动机在进行点动、连续控制时，主要是通过控制按钮和旋转开关来实现的，如图 7-11 所示。若保持旋转开关在解锁断开状态，整个电路处于点动控制模式，即按下控制按钮，三相交流电动机便起动运转；松开控制按钮，三相交流电动机立即停转。

当调整旋转按钮，使其处于闭合自锁状态，整个电路处于连续控制模式，即按下控制按钮，三相交流电动机便起动运转；松开控制按钮，三相交流电动机依然保持运转状态。

由图 7-11 可知，由旋转开关控制的三相交流电动机点动、连续控制电路主要由供电电路、保护电路、控制电路和三相交流电动机等构成。

在该电路中的电源总开关 QS、控制按钮 SB1、停止按钮 SB2、旋转开关 SA、交流接触器 KM、过热保护继电器 FR 为三相交流电动机起动控制的核心部件。



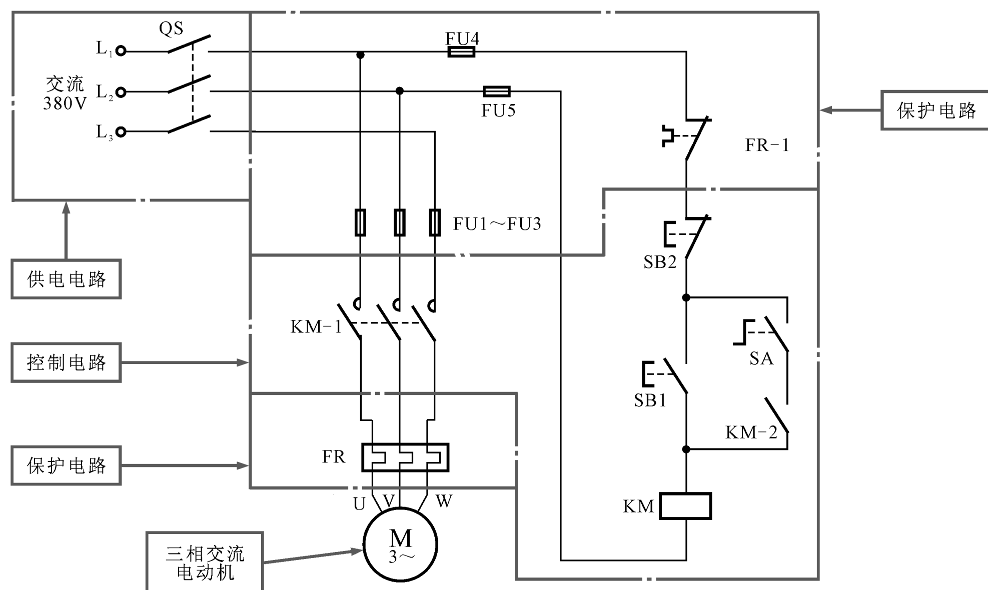


图 7-11 典型由旋转开关控制的三相交流电动机点动、连续控制电路


【资料】

旋转开关是一种转动式的闸刀开关，主要用于闭合或切断电路、换接电源或局部照明等。调整旋转按钮，使之处于闭合锁定状态，再调整一下旋转按钮，旋转按钮会断开解除锁定。一般来说，旋转按钮的初始状态为解锁断开。旋转开关的实物外形如图7-12所示。



图 7-12 旋转开关的实物外形

1. 三相交流电动机的点动控制过程

对三相交流电动机进行点动控制时，首先要将旋转开关 SA 置于断开状态，然后合上电源总开关 QS，接通三相电源，如图 7-13 所示。此时，按下控制按钮 SB1，交流接触器 KM 线圈得电。

交流接触器 KM 线圈得电后，常闭主触点 KM-1 闭合，三相交流电动机接通三相电源，起动运转。

如图 7-14 所示，当松开控制按钮 SB1 后，交流接触器 KM 线圈失电，常开主触点 KM-1 复位



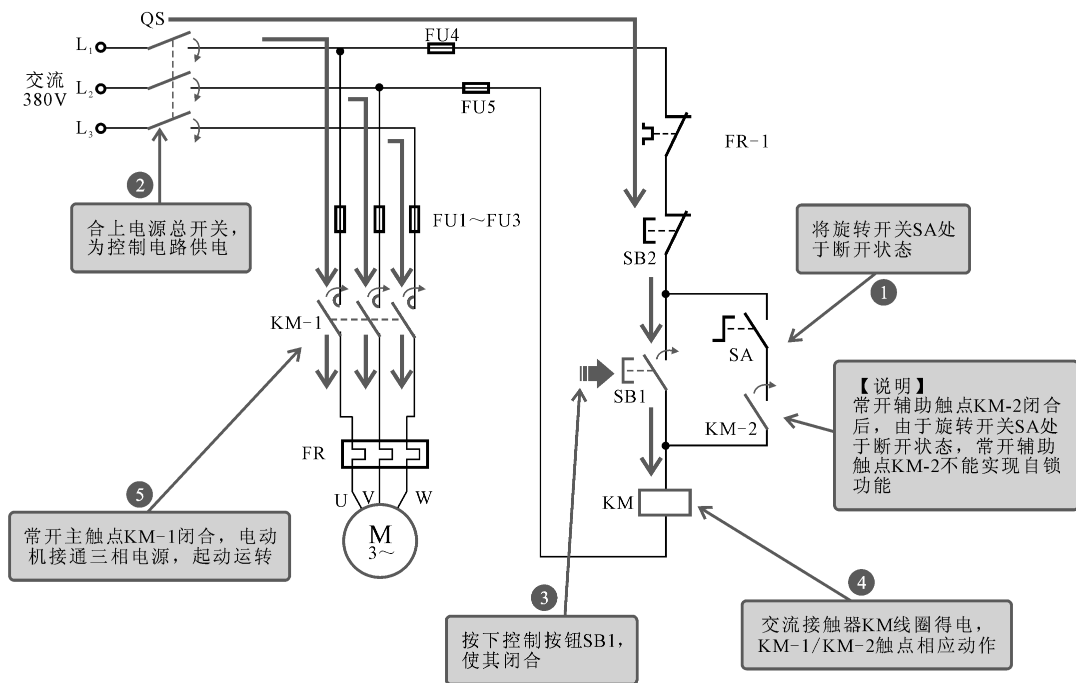


图 7-13　三相交流电动机的点动起动前 KM 线圈的得电过程

断开，切断三相交流电动机供电电源，三相交流电动机停止运转，从而实现三相交流电动机的点动控制。

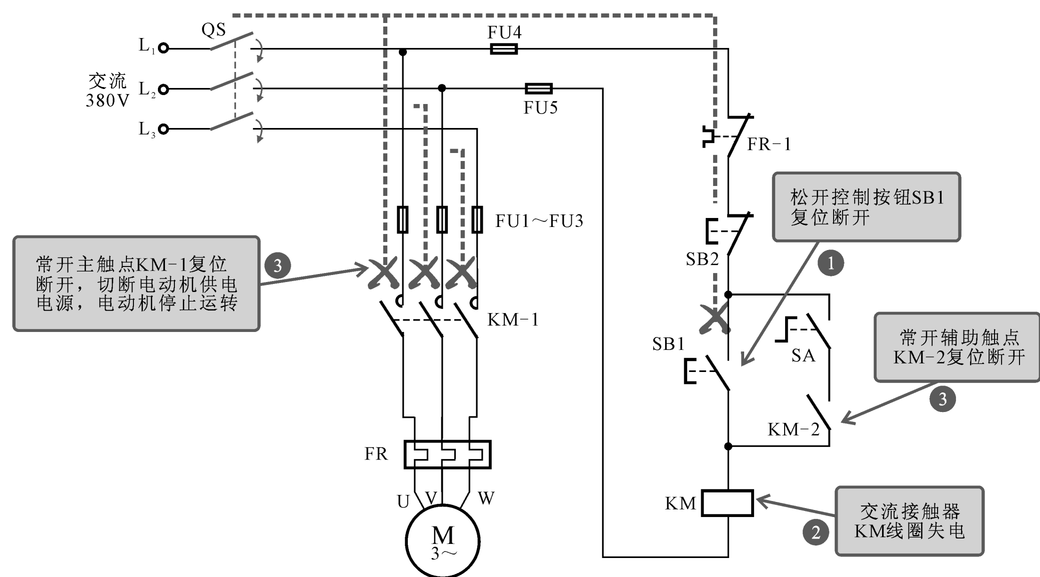


图 7-14　点动状态时，松开控制按钮的控制过程

2. 三相交流电动机的连续控制过程

使用该电路进行连续控制时，首先需要将旋转开关 SA 设置为闭合状态，如图 7-15 所示；然后按下控制按钮 SB1，SB1 闭合，交流接触器 KM 线圈得电。

交流接触器 KM 线圈得电后，常开主触点 KM-1 闭合，三相交流电动机接通三相电源，起动运转。常开辅助触点 KM-2 闭合实现自锁功能。

SB1 复位断开，由于旋转开关 SA 闭合，且常开辅助触点 KM-2 闭合自锁，交流接触器 KM 线圈持续得电，保证主触点 KM-1 一直处于闭合状态，维持三相交流电动机连续供电，进行工作。

图 7-15　连续状态的控制过程

3. 三相交流电动机的停机控制过程

当需要三相交流电动机停机时，按下停止按钮 SB2，此时交流接触器 KM 线圈失电，触点全部复位：常开主触点 KM-1 复位断开，切断三相交流电动机的供电电源，三相交流电动机停止运转，常开辅助触点 KM-2 复位断开，解除自锁功能。

7.2.3　三相交流电动机的正反转控制是如何实现的

三相交流电动机的正反转连续控制电路是指对三相交流电动机的正向旋转和反向旋转进行控制的电路。

该电路通常使用起动按钮和交流接触器对三相交流电动机的正、反转工作状态进行控制，如图 7-16 所示，并且电路中加入自锁功能，当按下起动按钮后，三相交流电动机便会持续的正向或反向旋转。

由图 7-16 可知，三相交流电动机正反转连续控制电路主要由供电电路、保护电路、控制电路、指示灯电路和三相交流电动机等构成。

在该电路中的正转复合按钮 SB1、正转交流接触器 KMF、正转指示灯 HL2 是三相交流电动机正转连续控制的核心部件。



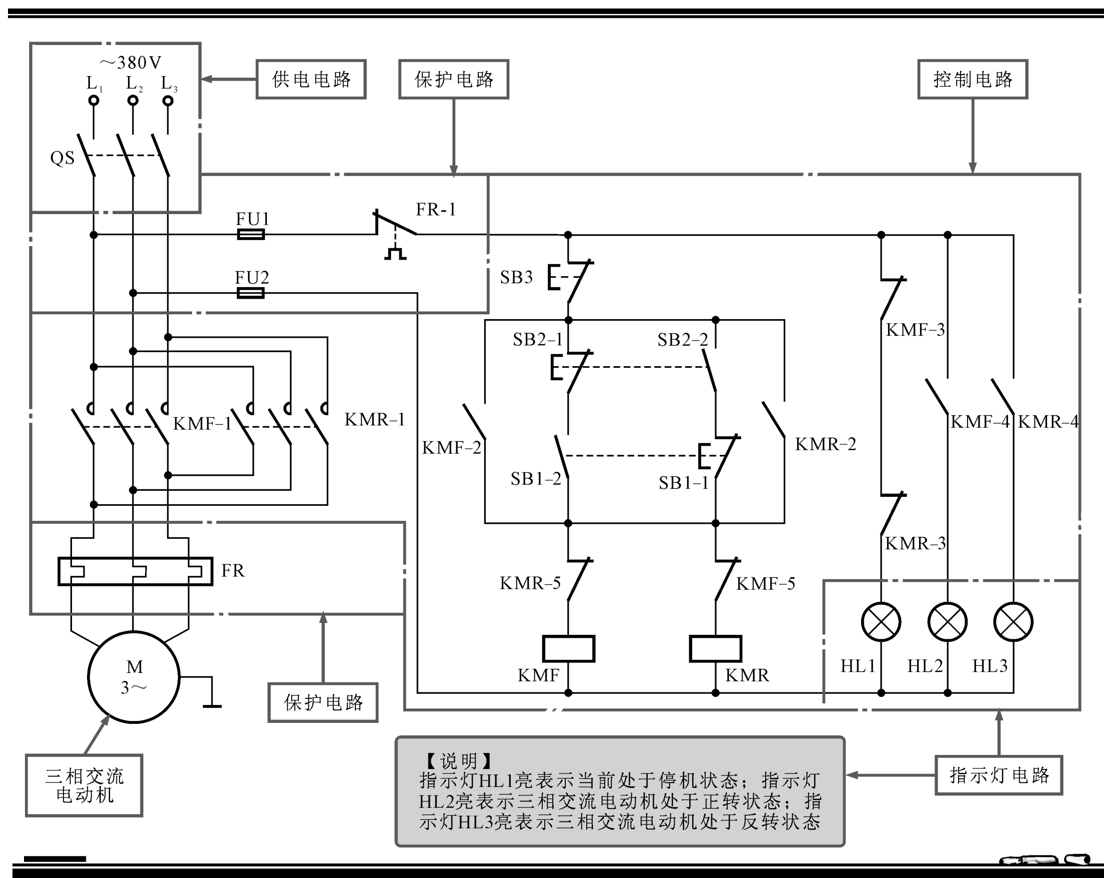


图 7-16　典型三相交流电动机正反转连续控制电路

反转复合按钮 SB2、反转交流接触器 KMR、反转指示灯 HL3 是三相交流电动机反转连续控制的核心部件。

1. 三相交流电动机正转起动过程

进行正转起动控制时，首先合上电源总开关 QS，接通三相电源，此时电源经交流接触器 KMF 的常闭辅助触点 KMF-3、KMR-3 为停机指示灯 HL1 供电，HL1 点亮，提示当前处于停机状态。

如图 7-17 所示，当按下正转复合按钮 SB1 时，常闭触点 SB1-1 断开，防止反转交流接触器 KMR 线圈得电。常开触点 SB1-2 闭合，正转交流接触器 KMF 线圈得电，相应的触点动作。

正转交流接触器 KMF 线圈得电后，使三相交流电动机控制电路产生相应的功能：

常开主触点 KMF-1 闭合，三相交流电动机接通三相电源相序 L_1、L_2、L_3，正向起动运转；

常开辅助触点 KMF-2 闭合，实现自锁功能，使正转交流接触器 KMF 线圈一直处于得电状态；

常闭辅助触点 KMF-3 断开，切断停机指示灯 HL1 的供电电源，HL1 熄灭；

常开辅助触点 KMF-4 闭合，正转指示灯 HL2 点亮，指示三相交流电动机处于正向运转状态；

常闭辅助触点 KMF-5 断开，防止反转交流接触器 KMR 线圈得电。

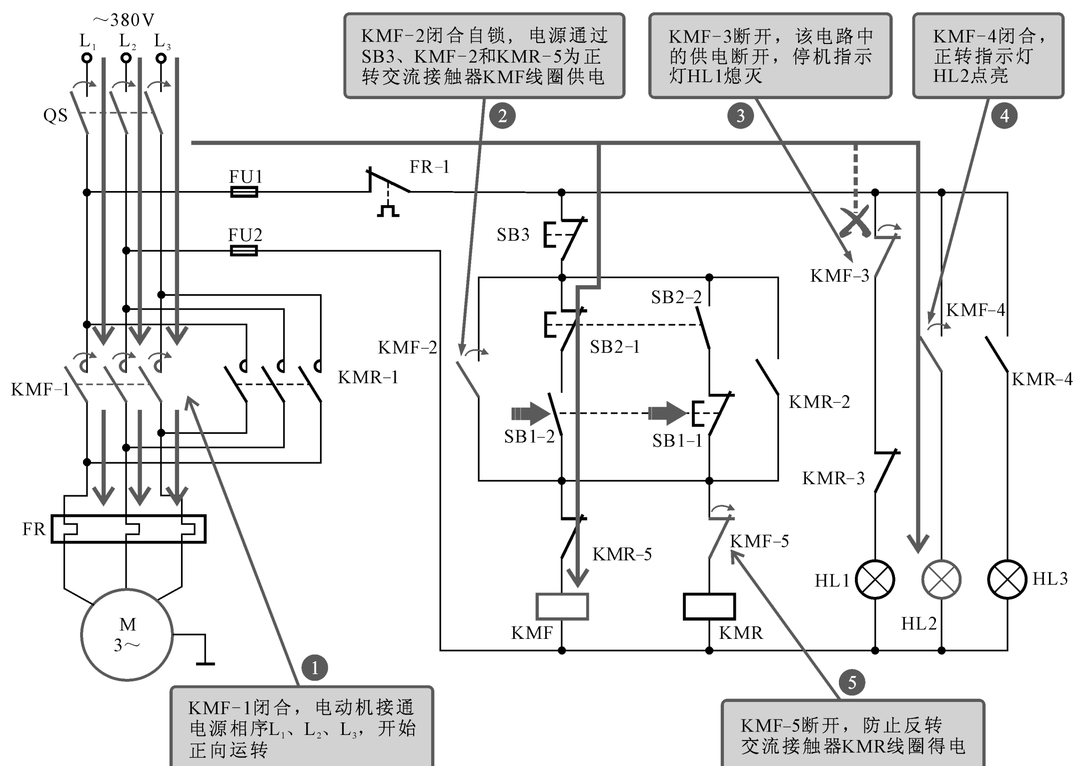


图 7-17　三相交流电动机正转起动过程

2. 三相交流电动机正转停机过程

当需要三相交流电动机在正转状态下停机时，需要按下停止按钮 SB3，正转交流接触器 KMF 线圈失电，内部触点均复位动作：

常开辅助触点 KMF-2 复位断开，解除自锁功能；

常开主触点 KMF-1 复位断开，切断三相交流电动机供电电源，三相交流电动机停止正向运转；

常闭辅助触点 KMF-3 复位闭合，停机指示灯 HL1 点亮，指示三相交流电动机处于停机状态；

常开辅助触点 KMF-4 复位断开，切断正转指示灯 HL2 的供电电源，HL2 熄灭；

常闭辅助触点 KMF-5 复位闭合，为反转起动做好准备。

3. 三相交流电动机反转起动过程

使用该电路实现三相交流电动机反转时，需要按下反转复合按钮 SB2，如图 7-18 所示。此时，常闭触点 SB2-1 断开，防止正转交流接触器 KMF 线圈得电；常开触点 SB2-2 闭合，反转交流接触器 KMR 线圈得电，相应的触点开始动作：

常开辅助触点 KMR-2 闭合，实现自锁功能；

常开主触点 KMR-1 闭合，三相交流电动机接通三相电源相序 L_3、L_2、L_1，反向起动运转；

常闭辅助触点 KMR-3 断开，切断停机指示灯 HL1 的供电电源，HL1 熄灭；

常开辅助触点 KMR-4 接通，反转指示灯 HL3 点亮，指示三相交流电动机处于反向运转状态；

常闭辅助触点 KMR-5 断开，防止正转交流接触器 KMF 线圈得电。



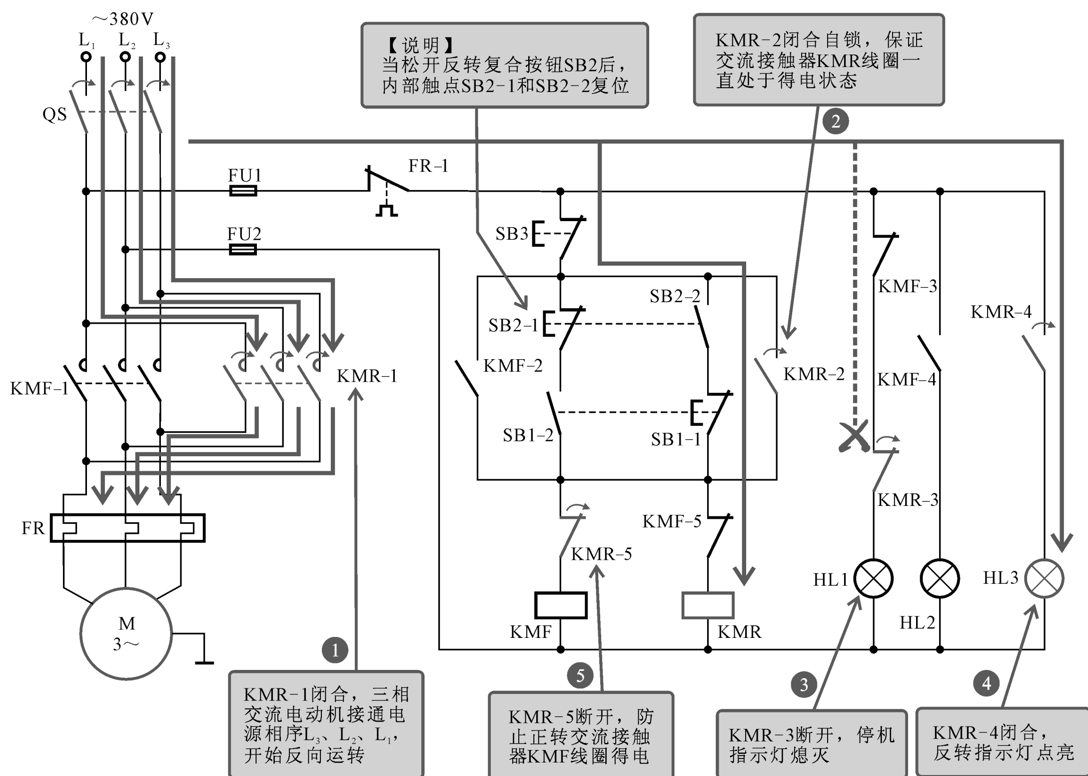


图 7-18　三相交流电动机反转起动过程

4. 三相交流电动机反转停机过程

当需要三相交流电动机停机时，按下停机按钮 SB3，其常闭触点断开，从而断开供电电源，此时反转交流接触器 KMR 线圈失电，内部的触点均复位：

常开辅助触点 KMR-2 复位断开，解除自锁功能；

常开主触点 KMR-1 复位断开，切断三相交流电动机供电电源，三相交流电动机停止反向运转；

常闭辅助触点 KMR-3 复位闭合，停机指示灯 HL1 点亮，指示三相交流电动机处于停机状态；

常开辅助触点 KMR-4 复位断开，切断反转指示灯 HL3 的供电电源，HL3 熄灭；

常闭辅助触点 KMR-5 复位闭合，为正转起动做好准备。

7.2.4　三相交流电动机定时起动、停机的控制是如何实现的



三相交流电动机的定时起动、定时停机控制电路是指在规定的时间内自行起动、自行停止的控制电路，若要实现该功能，则需要用到时间继电器进行控制。具体来说：当按下电路中的起动按钮时，三相交流电动机会延时一段时间起动运转。三相交流电动机运转一段时间后会自动停机，具体的控制电路如图 7-19 所示。

由图 7-19 可知，三相交流电动机的定时起动、定时停机控制电路主要由供电电路、保护电



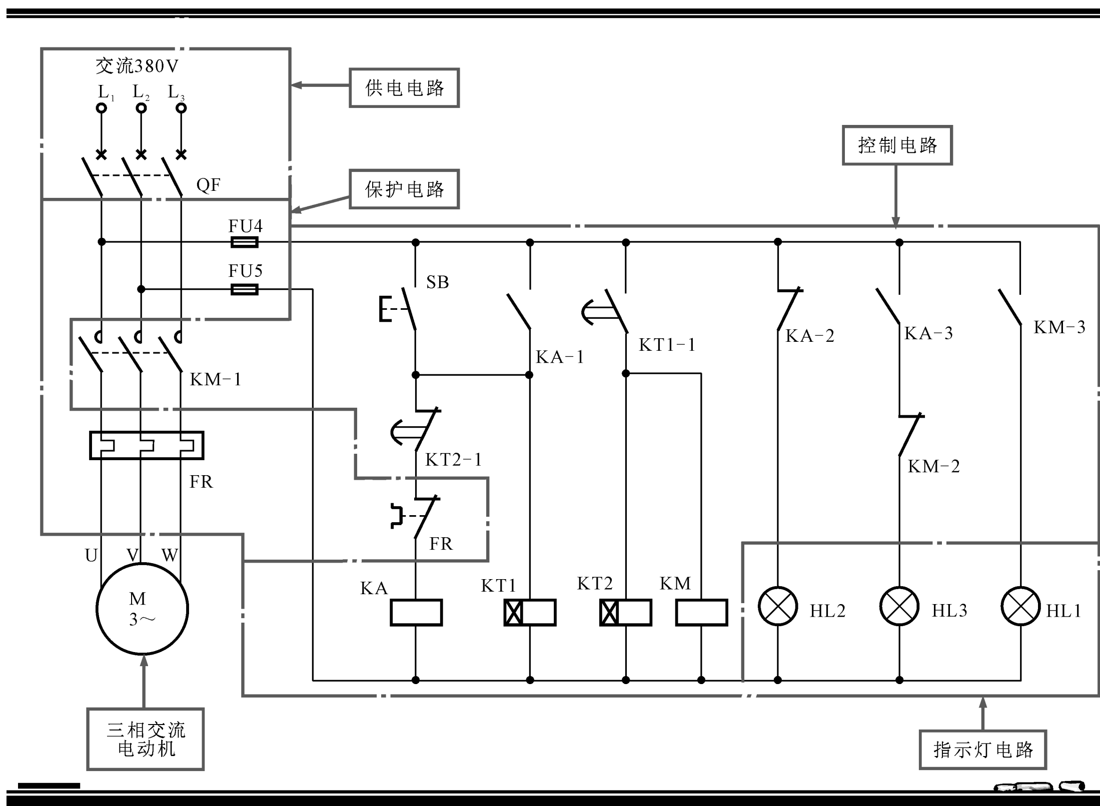


图 7-19　典型三相交流电动机的定时起动、定时停机控制电路

路、控制电路、指示灯电路和三相交流电动机等构成。

该电路中的总断路器 QF、起动按钮 SB、中间继电器 KA、时间继电器 KT1 和 KT2、交流接触器 KM 为三相交流电动机定时起动、定时停机控制的核心部件。

提问

时间继电器在电路中是怎样实现控制的呢?





时间继电器本身是一种延时或周期性定时闭合、切断控制电路的继电器，当线圈得电后，经一段时间延时后（预先设定时间），其常开、常闭触点才会动作。

回答

【注意】

在控制电路中，按下起动按钮后进入起动状态的时间（即定时起动时间）和三相交流电动机运转工作的时间（即定时停机时间）都是由时间继电器控制的，具体的定时起动和定时停机时间可预先对时间继电路进行延时设定。这样就可以达到定时起动和定时停机的目的。

1. 三相交流电动机的等待起动过程

控制三相交流电动机起动时，需要有一个等待的过程，即时间继电器设定的时间，如图 7-19 所示，合上总断路器 QF，接通三相电源。

电源经中间继电器 KA 的常闭触点 KA-2 为停机指示灯 HL2 供电，HL2 点亮。

如图 7-20 所示，当按下起动按钮 SB 后，中间继电器 KA 线圈和时间继电器 KT1 线圈同时得电，相关触点作以下动作：

中间继电器 KA 线圈得电，常开触点 KA-1 闭合，实现自锁功能；

常闭触点 KA-2 断开，切断停机指示灯 HL2 的供电，HL2 熄灭；

常开触点 KA-3 闭合，等待指示灯 HL3 点亮，指示三相交流电动机处于等待起动状态；

时间继电器 KT1 线圈得电，进入等待计时状态（预先设定的等待时间）。

图 7-20　三相交流电动机的等待起动过程

2. 三相交流电动机的起动过程

时间继电器 KT1 进入等待计时状态后，当到达预先设定的等待时间时，时间继电器的各触点开始动作，如图 7-21 所示。

常开触点 KT1-1 闭合，交流接触器 KM 线圈和时间继电器 KT2 线圈同时得电；

交流接触器 KM 线圈得电后，常开主触点 KM-1 闭合，三相交流电动机接通三相电源，起动运转；

常闭辅助触点 KM-2 断开，切断等待指示灯 HL3 供电，HL3 熄灭；

常开辅助触点 KM-3 闭合，运行指示灯 HL1 点亮，指示三相交流电动机处于运转状态；

时间继电器 KT2 线圈得电，进入运转计时状态（预先设定的运转时间）。

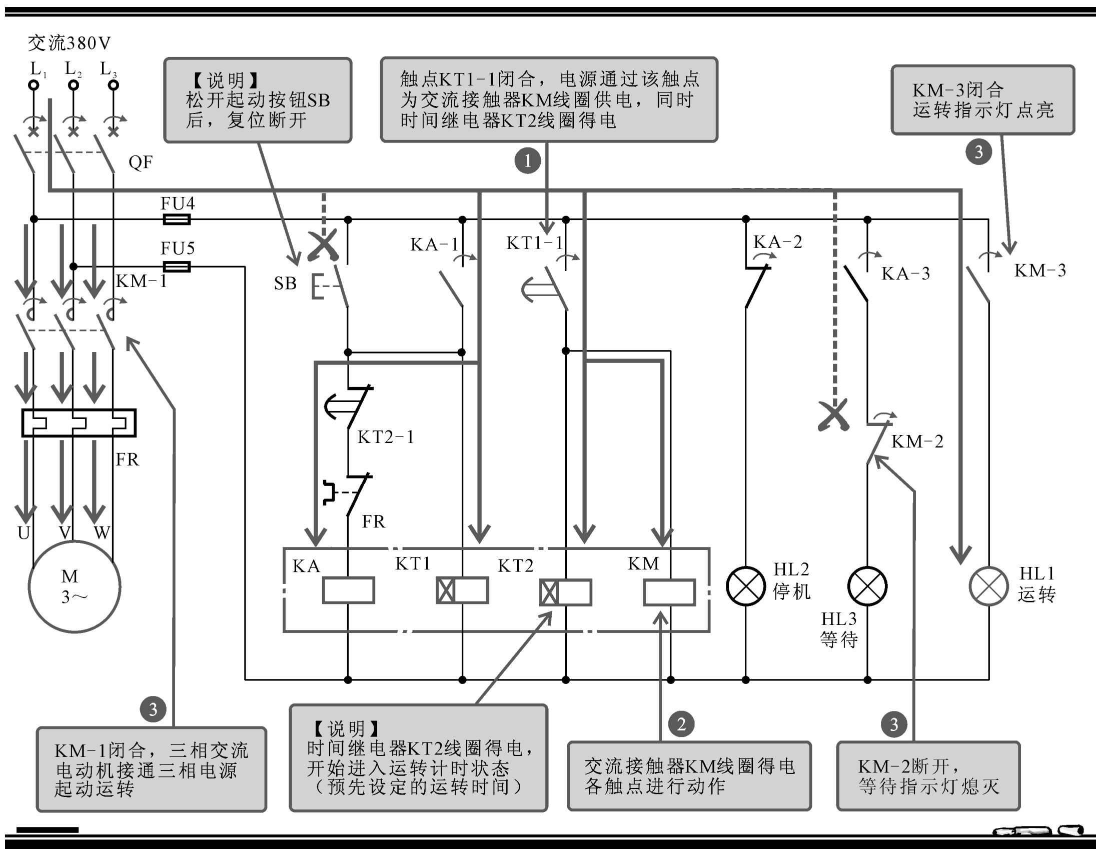


图 7-21　三相交流电动机的起动过程

3. 三相交流电动机的定时停机过程

时间继电器 KT2 进入运转计时状态后，当到达预先设定的运转时间时，常闭触点 KT2-1 断开，如图 7-22 所示，从而使中间继电器 KA 线圈失电，相关触点复位：

常开触点 KA-1 复位断开，解除自锁功能，同时时间继电器 KT1 线圈失电，时间继电器 KT1 线圈和交流接触器 KM 线圈失电后，直接控制三相交流电动机停止运行；

常闭触点 KA-2 复位闭合，停机指示灯 HL2 点亮，指示三相交流电动机处于停机状态；

常开触点 KA-3 复位断开，切断等待指示灯 HL3 供电电源，等待指示灯 HL3 熄灭。



【注意】

通过图 7-22 可知，时间继电器 KT2 线圈失电，常闭触点 KT2-1 复位闭合，为三相交流电动机的下一次定时起动、定时停机做好准备。



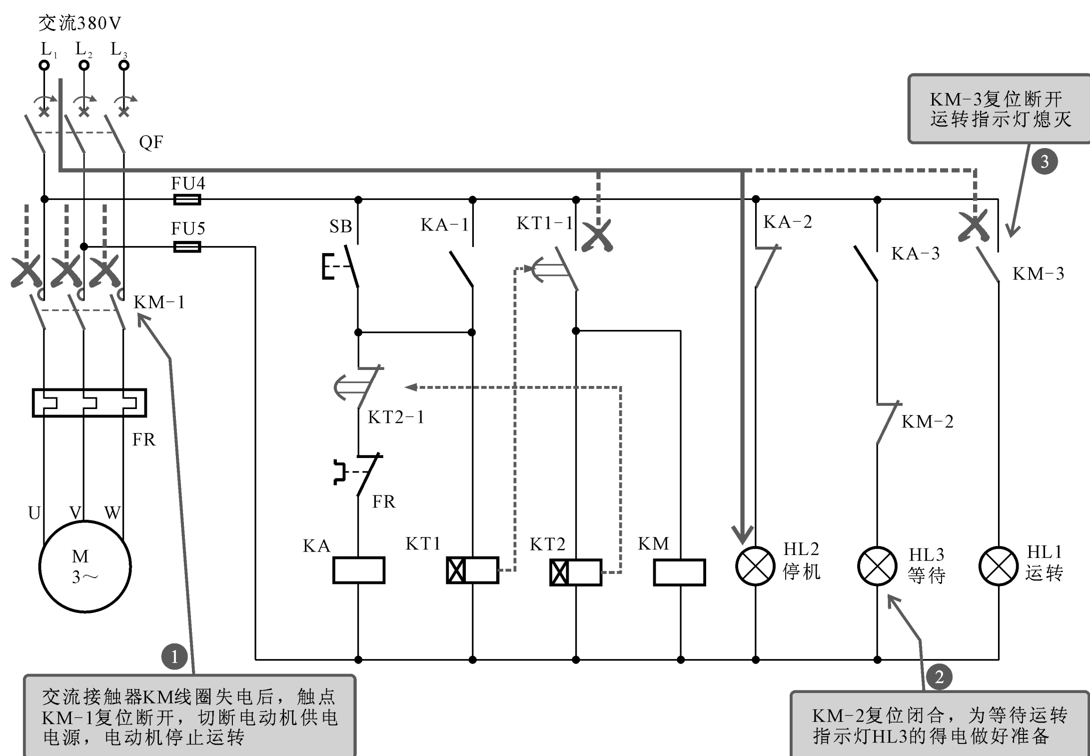


图 7-22　三相交流电动机的定时停机过程

第 8 章

通过案例搞清楚低压供电系统的电气控制



现在，开始进入第 8 章的学习，本章我们要了解常用低压供电系统的电气控制过程。在电气控制技术应用领域，低压供电系统的电气控制非常具有特色。目前很多低压供电系统都采用现代化的电气控制技术，不同种类的电气部件组合，不同方式的电气设备连接关系，导致低压供电系统的功能多种多样。

为了能够在短时间内搞清低压供电系统的电气控制，我们依托大量实际应用案例，从低压供电系统的电路构成入手，找到低压供电系统控制电路中的主要组成部件，建立其相互连接关系，进而对低压供电系统控制电路的工作方式进行分析，从一个个控制过程中，梳理出低压供电系统控制电路的控制过程。

相信通过对下面精心筛选的经典应用案例的分析，大家很快就能搞清低压供电系统的电气控制特色。

8.1　了解一下低压供电系统的电气控制过程





本节主要是对低压供电系统的电气控制过程进行介绍。首先介绍一下低压供电系统的电气控制电路中有哪些部件，然后再将这些部件进行连接后，分析一下这个电路是怎样实现控制过程的。通过这些知识的学习，初步对低压供电系统的电气控制过程有所了解。

8.1.1　看看低压供电系统的电气控制电路中有哪些器件



低压供电系统的电气控制电路是指为低压设备或器件供电的线路，一般应用在传输和分配低压电的场合，如低压配电箱、低压配电盘以及各种低压电气设备的控制线路等。

不同的控制电路，所采用的低压供电器件和线路结构也不尽相同，也正是通过对这些器件的巧妙连接和组合设计，使得低压供电控制电路具有不同功能，并适用于不同的场合和环境。图 8-1 所示的典型大棚照明灯控制电路中就采用了多个低压供电器件。

由图 8-1 可知，该电气控制电路主要是由电度表、总断路器、熔断器、指示灯、变压器、开启式负荷开关、照明灯等构成的。

根据该电气控制电路图，将各低压供电系统及相关电气部件通过连接导线进行连接后，即构成了大棚照明控制电路，如图 8-2 所示。

8.1.2　怎样做到对低压供电系统的电气控制



大棚的照明电气控制系统是依靠低压开关器件（如总断路器、开启式负荷开关）进行控制的，下面就以典型的电气控制电路为例详细讲解一下低压开关器件的功能。



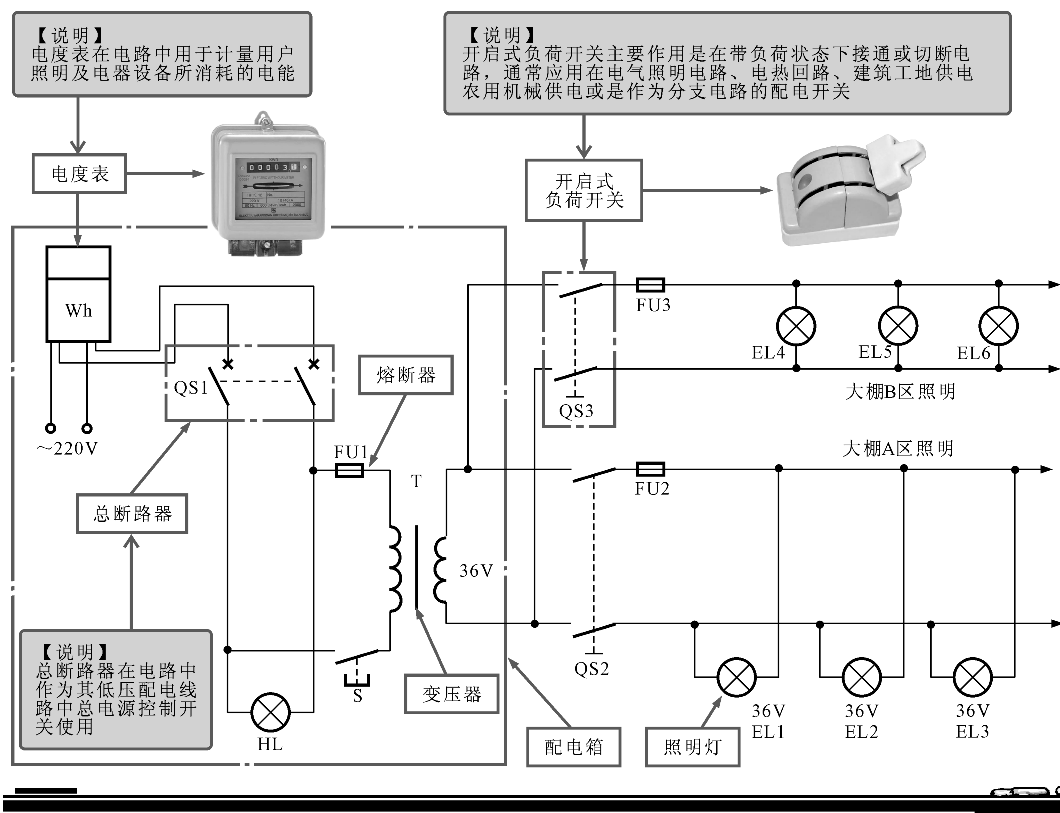


图 8-1　典型大棚照明灯控制电路

1. 总断路器的工作过程

如图 8-3 所示，交流 220V 市电经电能表 Wh、总断路器 QS1 后为降压变压器供电，指示灯 HL 接在总断路器输出端用以指示电源的状态，总断路器 QS1 接通则指示灯 HL 点亮，表明交流供电电压正常。

2. 照明灯开关的工作过程

将操作开关 S 闭合后，交流 220V 电源经熔断器 FU1 后加到电源变压器 T 一次绕组上，并由变压器的二次绕组输出 36V 交流低压。

由配电箱输出的 36V 交流低压分为两个相同结构的支路，分别为蔬菜大棚中 A 区和 B 区供电：

闭合开关 QS2，交流 36 V 电源电压经熔断器 FU2 后为 EL1 ~ EL3 供电，照明灯点亮。

闭合开关 QS3，交流 36 V 电源电压经熔断器 FU3 后为 EL4 ~ EL6 供电，照明灯点亮。

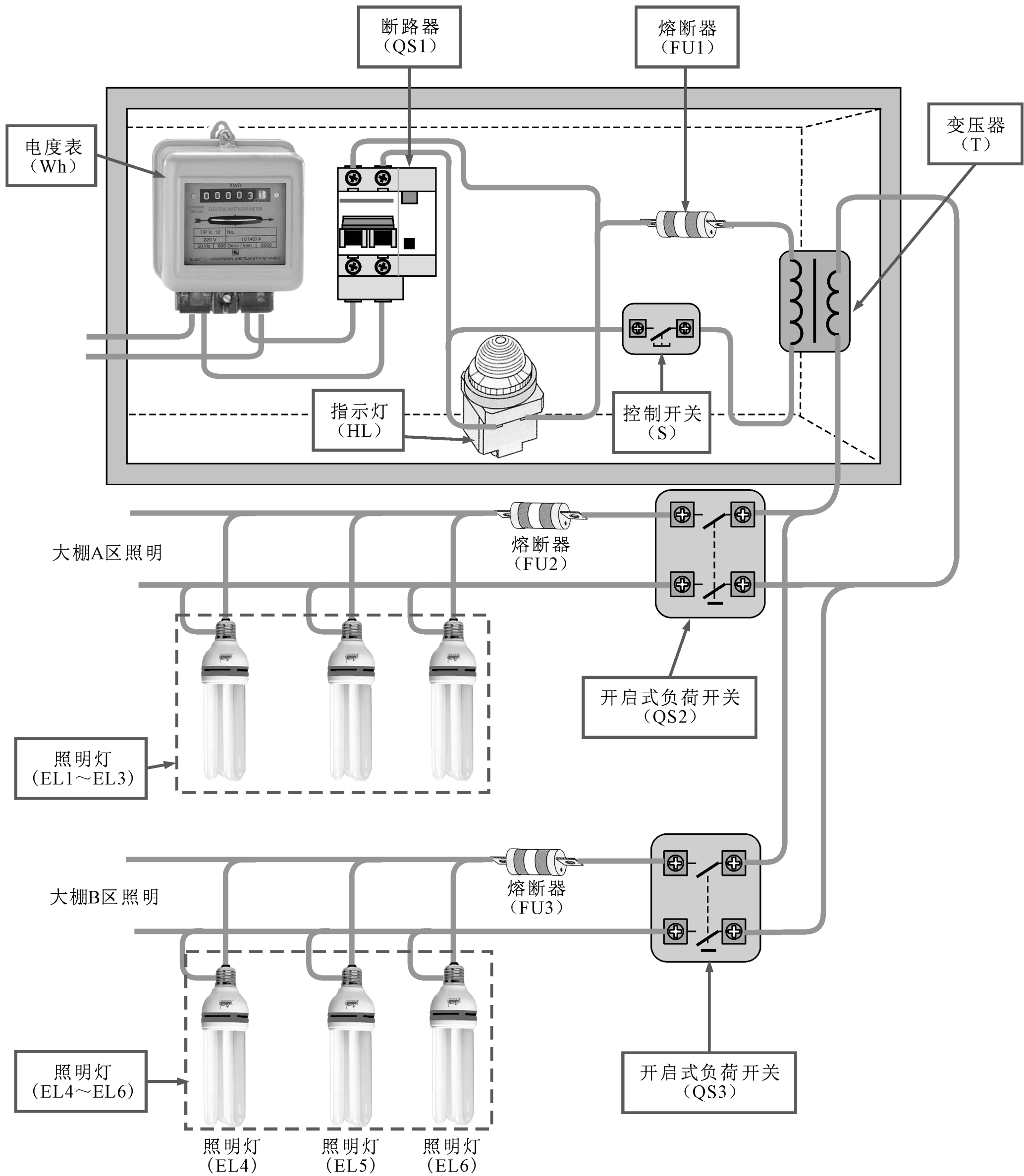


图 8-2　低压开关器件在照明控制系统中的应用（大棚照明电路）



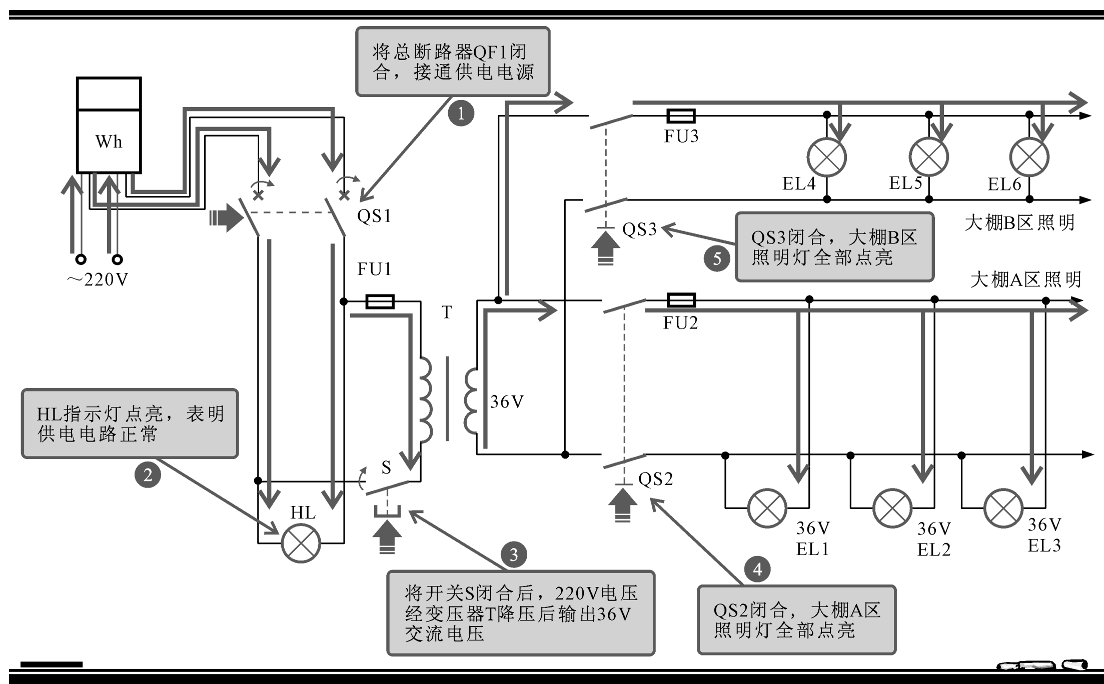


图 8-3　照明灯开关的工作过程

8.2　这些低压供电系统的电气控制效果是如何实现的





通过前面的学习，我们知道了低压器件的基本功能和连接方法，但不同低压供电开关器件实现的功能不同、部件间的组合方式以及数量的选用不同，加之电路上的连接差异，从而实现了多种控制效果。为了进一步巩固所学知识，下面通过一些案例来搞清楚低压电气设备的电气控制效果是通过什么样的方式来实现的。

8.2.1　低压配电开关设备的电气控制是如何实现的



低压配电系统是一种为低压设备供电的配电线路，6～10kV 的高压经变压器变压后成为交流低压，经开关为低压动力柜、照明设备或动力设备提供工作电压。

图 8-4 所示为典型低压配电系统控制电路。由图可知，该电路主要是由高压输入和变压电路、低压配电线路等构成的，其中隔离开关 QS1/QS3、电力变压器 T、避雷器 F、断路器 QF1～QF8、熔断器式隔离开关 FU2～FU8 等为低压配电开关设备控制的核心器件。

由图 8-4 可知，在 6～10kV 高压的进线处设置有避雷器 F，合上高压负荷隔离开关 QL1，便可为高压配电柜供电。

6～10kV 高压送入电力变压器 T 的输入端，经降压后由输出端输出 220V/380V 低压。

合上隔离开关 QS1、断路器 QF1 后，220V/380V 低压经 QS1、QF1 和电流互感器 TA1 送入 220V/380V 母线中。

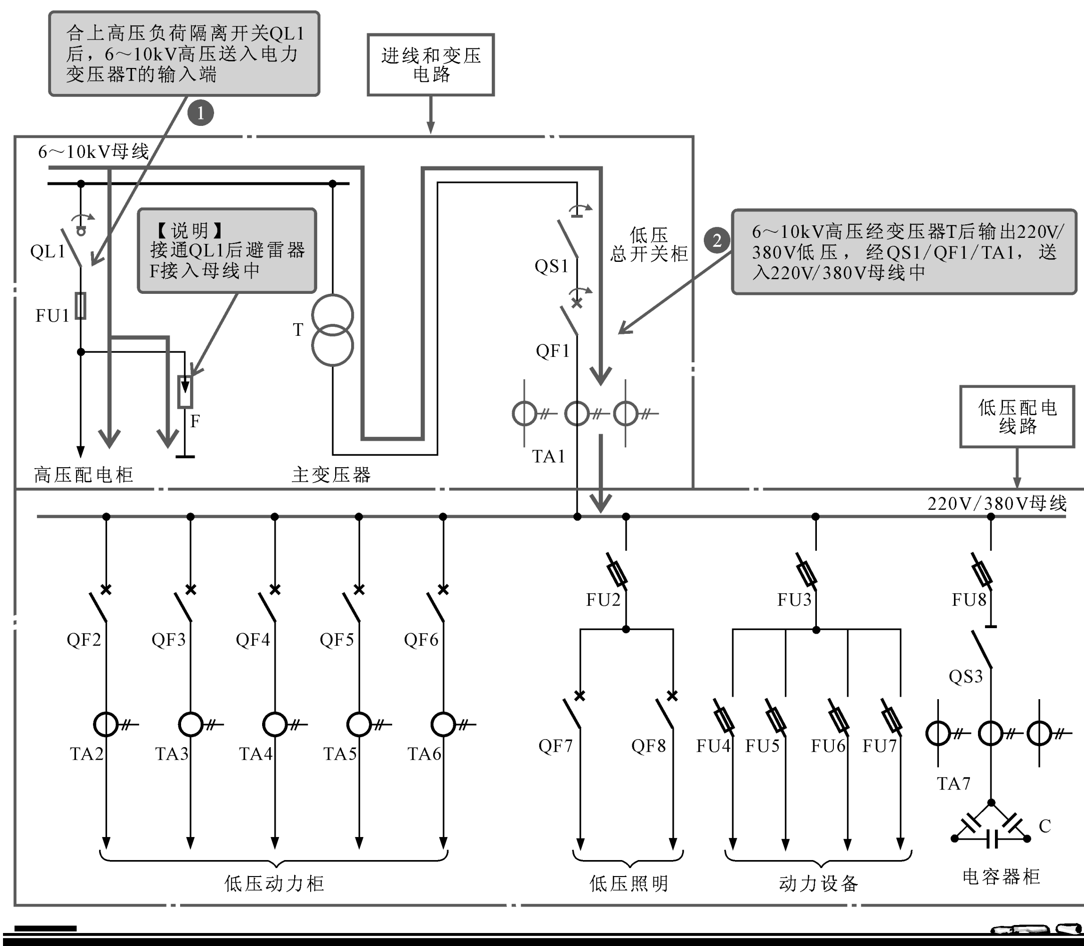


图 8-4　典型低压配电系统控制电路

在 220V/380V 母线上接有各个支路，如图 8-5 所示，当合上断路器 QF2～QF6 后，220V/380V 电压经 QF2～QF6、电流互感器 TA2～TA6 为低压动力柜供电。

合上熔断器式隔离开关 FU2、断路器 FU7/FU8，220/380 V 电压经 FU2、FU7/FU8 为低压照明进行供电。

合上熔断器式隔离开关 FU3～FU7，220V/380V 电压经 FU3、FU4～FU7 分为为动力设备进行供电。

合上熔断器式隔离开关 FU8 和隔离开关 QF9，220V/380V 电压经 FU8、QF9 和电流互感器 TA7，为电容器柜进行供电。

8.2.2　低压配电柜供配电线路的电气控制是如何实现的



低压配电柜供配电常采用两路电源进行供电：其中一路作为主电源，另一路则作为备用电源。当两路电源均正常时，供电处的指示灯便会点亮；当主电源线路中出现故障时，指示灯熄灭，备用电源则继续维持配电柜工作。

图 8-6 所示为典型低压配电柜供配电线路，由图可知该电路主要是由主配电柜供配电线路和备用配电柜供配电线路等构成的。



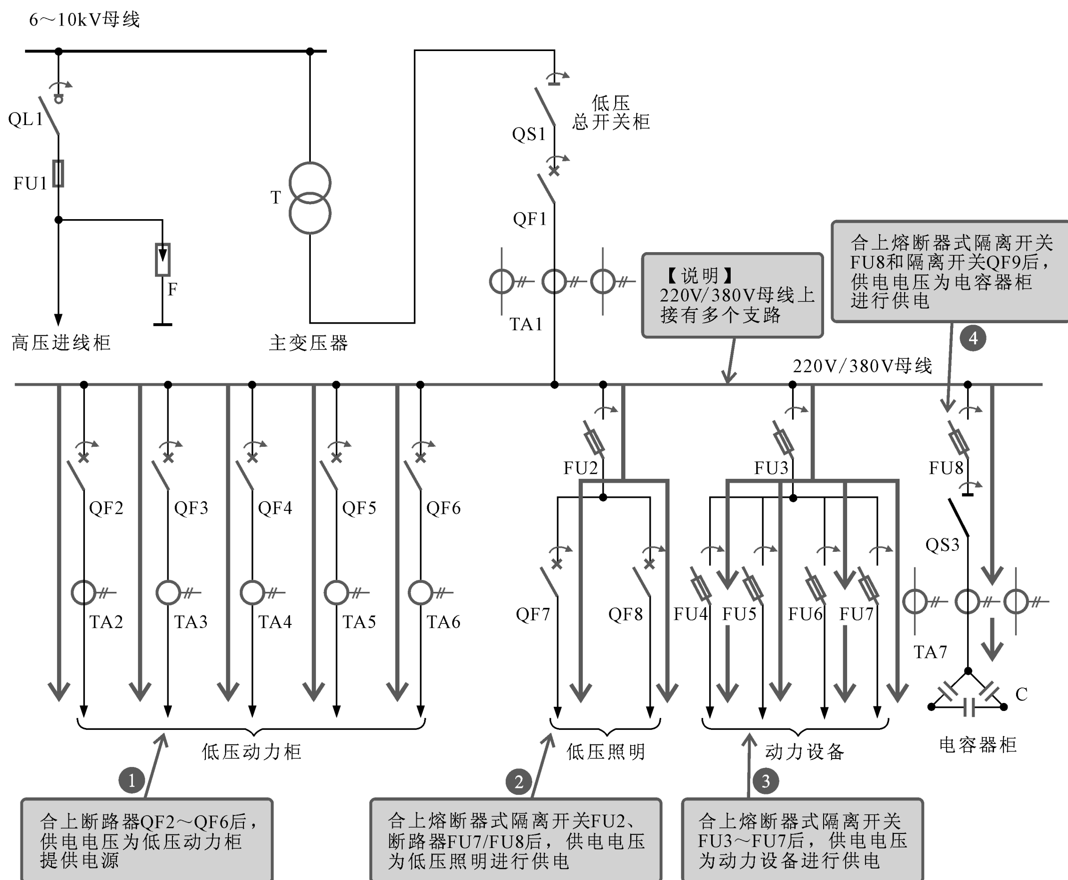


图 8-5　低压配电线路开关设备的控制过程

下面，我们主要是通过对主配电柜配电线路、备用配电柜配电线路的控制过程的学习，来了解如何实现对这些电气设备的控制。

1. 主配电柜配电线路的配电过程

主配电和备用配电均采用三相四线制供电线路，当这两路供电均正常时，指示灯 EL1 和 EL2 被点亮。

使用主配电柜时，应首先闭合总断路器 QF1，接通主配电柜三相交流电源，如图 8-7 所示，然后按下按钮开关 SB1，使触点闭合，交流接触器 KM1 线圈得电，相应的触点动作：

常开辅助触点 KM1-3 闭合，指示灯 EL3 点亮；

常闭辅助触点 KM1-2 断开，防止交流接触器 KM2 线圈得电；

常开主触点 KM1-1 闭合，用电设备接通三相电源。

提问

上面提到了三相四线制供电线路，什么是三相四线制呀？



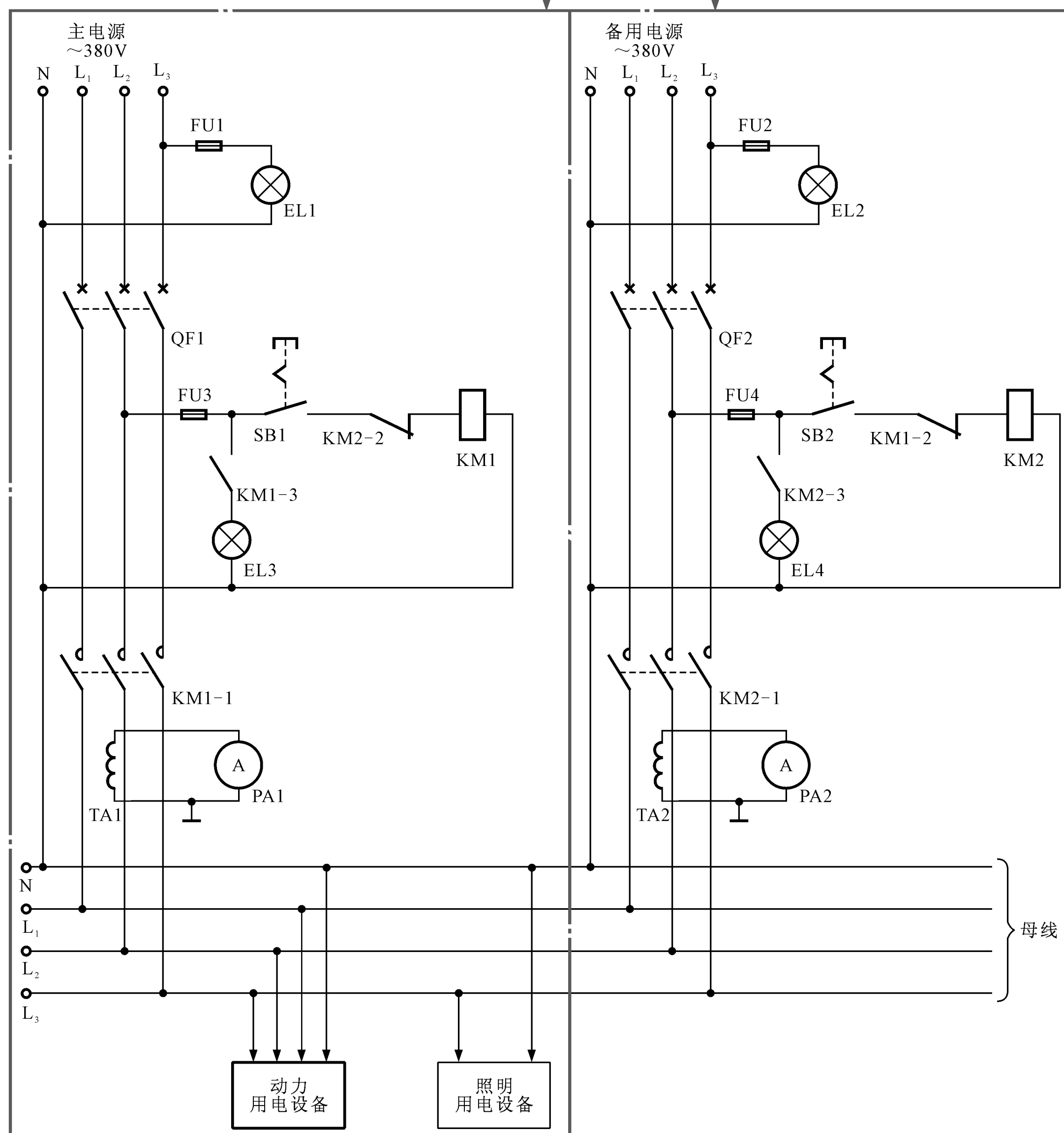


图 8-6　典型低压配电柜供配电线路



三相四线制是指供电线路中有三条相线和一条零线，使用这种供电线路的电气设备在正常工作时，可以将没有做功的电流经零线回到电厂，对电气设备起到保护作用。

回答

常用电源 ~380V
N L1 L2 L3
FU1 EL1 QF1 FU3 SB1 KM2-2 KM1 KM1-3 EL3 KM1-1 TA1 PA1
【说明】供电正常时，指示灯EL1点亮
① 闭合总断路器QF1接通三相交流电源
② 按下SB1，使交流接触器KM1线圈得电，相应触点动作
③ 常开辅助触点KM1-3闭合，指示灯EL3点亮
③ KM1-1闭合，用电设备接通三相电源，开始运行
【说明】在三相供电线路中设有电流互感器TA1，用来连接电流表PA1指示实时电流

备用电源 ~380V
N L1 L2 L3
FU2 EL2 QF2 FU4 SB2 KM1-2 KM2 KM2-3 EL4 KM2-1 TA2 PA2
【说明】供电正常时，指示灯EL2点亮
③ 常闭辅助触点KM1-2断开，防止交流接触器KM2线圈得电

N L1 L2 L3 母线
动力用电设备
照明用电设备

图 8-7　主配电柜供电线路的供电过程

2. 备用配电柜配电线路的配电过程

如果主电源发生故障，可使用备用电源，应先合上总断路器 QF2，接通备用配电柜三相交流电源，如图 8-8 所示，然后按下按钮开关 SB2。

当主电源有故障时，电源指示灯 EL1 熄灭，交流接触器 KM1 线圈失电，相应的触点复位，其中触点 KM1-1 断开，KM1-2 复位接通。这种情况下为起动备用电源提供了工作条件。常闭辅助触点 KM1-2 复位闭合，使交流接触器 KM2 线圈得电。



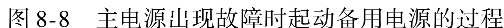


图 8-8　主电源出现故障时起动备用电源的过程

交流接触器 KM2 线圈得电后，相应触点动作：

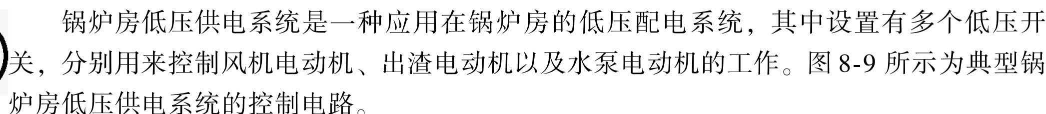
常开辅助触点 KM2-3 闭合，指示灯 EL4 点亮；

常闭辅助触点 KM2-2 断开，防止交流接触器 KM1 线圈得电；

常开主触点 KM2-1 闭合，用电设备接通备用配电柜的三相电源。

在三相供电线路中设有电流互感器 TA2，用来连接电流表 PA2，用以指示工作电流。

8.2.3　锅炉房低压供电系统的电气控制是如何实现的



锅炉房低压供电系统是一种应用在锅炉房的低压配电系统，其中设置有多个低压开关，分别用来控制风机电动机、出渣电动机以及水泵电动机的工作。图 8-9 所示为典型锅炉房低压供电系统的控制电路。



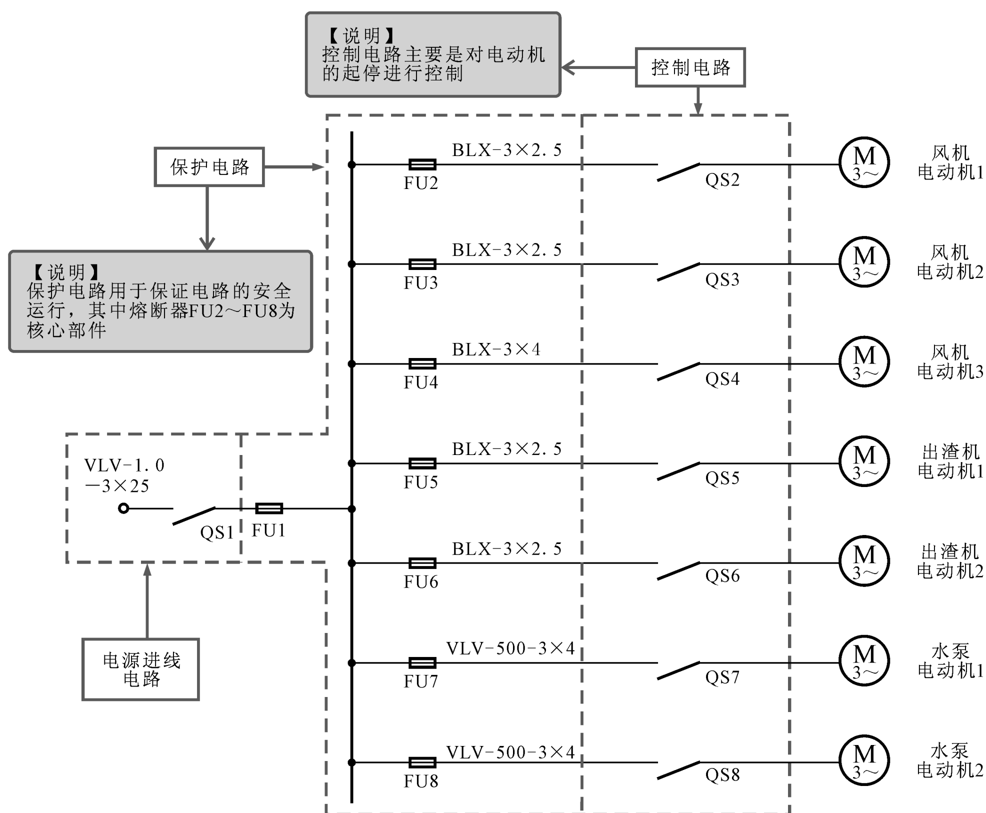


图 8-9　典型锅炉房低压供电系统的控制电路

由图 8-9 可知，典型锅炉房低压供电系统的控制电路主要是由电源进线电路、保护电路以及控制电路等构成的。

图 8-10 所示为各支路上开关设备的控制过程，接通总电源开关 QS1 后，电源经熔断器 FU1 为母线供电。

在母线上接有多个支路，分别为多个风机电动机、出渣电动机和水泵电动机供电。

每一路都设有电源开关和熔断器，可单独对相应的风机电动机、出渣电动机和水泵电动机进行起停控制。

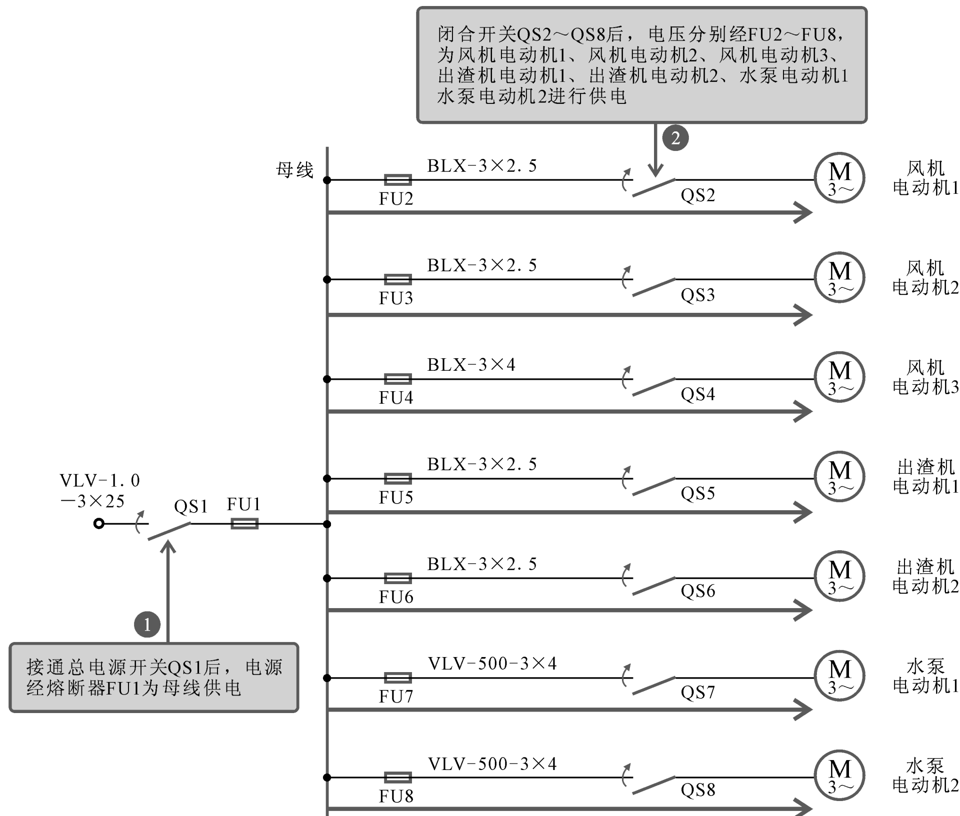


图 8-10　各支路上开关设备的控制过程

第 9 章 通过案例搞清楚高压供电系统的电气控制



现在，开始进入第 9 章的学习，本章我们要了解常用高压供电系统的电气控制过程。在电气控制技术应用领域，高压供电系统的电气控制非常具有特色。目前很多高压供电系统都采用现代化的电气控制技术，不同种类的电气部件组合，不同方式的电气设备连接关系，导致高压供电系统的功能多种多样。

为了能够在短时间内搞清高压供电系统的电气控制，我们依托大量实际应用案例，从高压供电系统的电路构成入手，找到高压供电系统控制电路中的主要组成部件，建立其相互连接关系，进而对高压供电系统控制电路的工作方式进行分析，从一个个控制过程中，梳理出高压供电系统控制电路的控制过程。

相信通过对下面精心筛选的经典应用案例的分析，大家很快就能搞清高压供电系统的电气控制特色。

9.1　了解一下高压供电系统的电气控制过程



本节主要是对高压供电系统的电气控制过程进行介绍，首先从高压供电系统的电气控制电路的结构组成入手，在清楚电路中有哪些器件的基础上，将电路进行划分，分析电路的控制过程，通过这些知识的学习，初步对高压供电系统的电气控制过程有所了解。

9.1.1　看看高压供电系统的电气控制电路中有哪些器件



高压供电系统的电气控制电路是指在高压环境下工作的线路和设备，通常这种电路主要应用在传输和分配高压电的场合，例如高压变电所、高压变电站、高压配电柜等。

不同的控制电路，所采用的高压供电系统和线路结构也不尽相同，也正是通过对这些设备、部件间的巧妙连接和组合设计，使得高压供电系统控制电路可具有不同功能，并适用于不同的场合和环境。图 9-1 所示为典型高压供电系统控制电路的结构。



【注意】

高压隔离开关在电路中用于隔离高压电压，保护高压电气的安全，使用时需与高压断路器配合使用；高压断路器是高压供配电线路中的保护装置，当高压供配电线路的负载线路中发生短路故障时，高压断路器会自行断路进行保护；高压跌落式熔断器在出现过流熔断时会自动脱落，可以与隔离开关配合使用；高压熔断器用于保护高压供配电线路中的设备安全，当高压供配电线路中出现过流时，高压熔断器会自动断开电路；电压互感器把高电压按比例关系变换成 100V 或更低等级的标准次级电压，并与电压表、电流表连接，供保护、计

量、仪表装置使用，同时，使用电压互感器还可以将高电压与电气工作人员隔离；电流互感器是一种将大电流转换成小电流的变压器，是电力系统的重要组成部分，它被广泛应用于继电保护、电能计量、远方控制等方面；电力变压器在高压供配电线路中用于实现电能的输送、电压的变换，在远程传输时，将发电站送出的电源电压升高，以减少在电力传输过程中的损失，便于长途输送电力，在用电的地方，变压器将高压降低，供用电设备和用户使用；避雷器是一种具有漏电保护功能的开关，是在供电系统受到雷击时的快速放电装置，可以保护变配电设备免受瞬间过电压的危害，避雷器通常用于带电导线与地之间，与被保护的变配电设备呈并联状态。

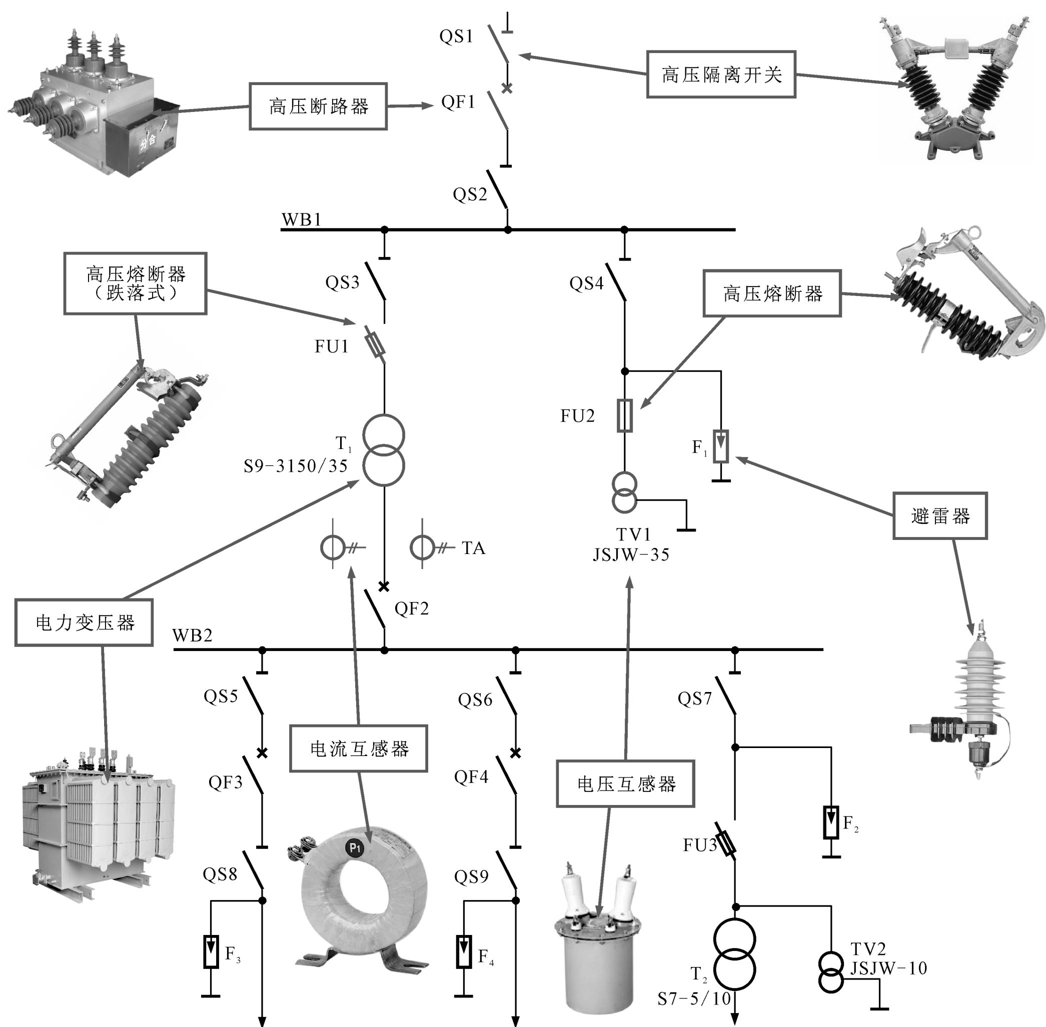


图 9-1　典型高压供电系统控制电路的结构

通过图 9-1 可知，该高压供电系统的电气控制电路主要是由高压隔离开关、高压断路器、高压熔断器、电压互感器、电流互感器、电力变压器、避雷器等构成的。



我们根据该电气控制电路的连接关系，将各高压供电系统及相关电气部件实物通过线路进行连接后，即可得实物连接图，如图9-2所示。

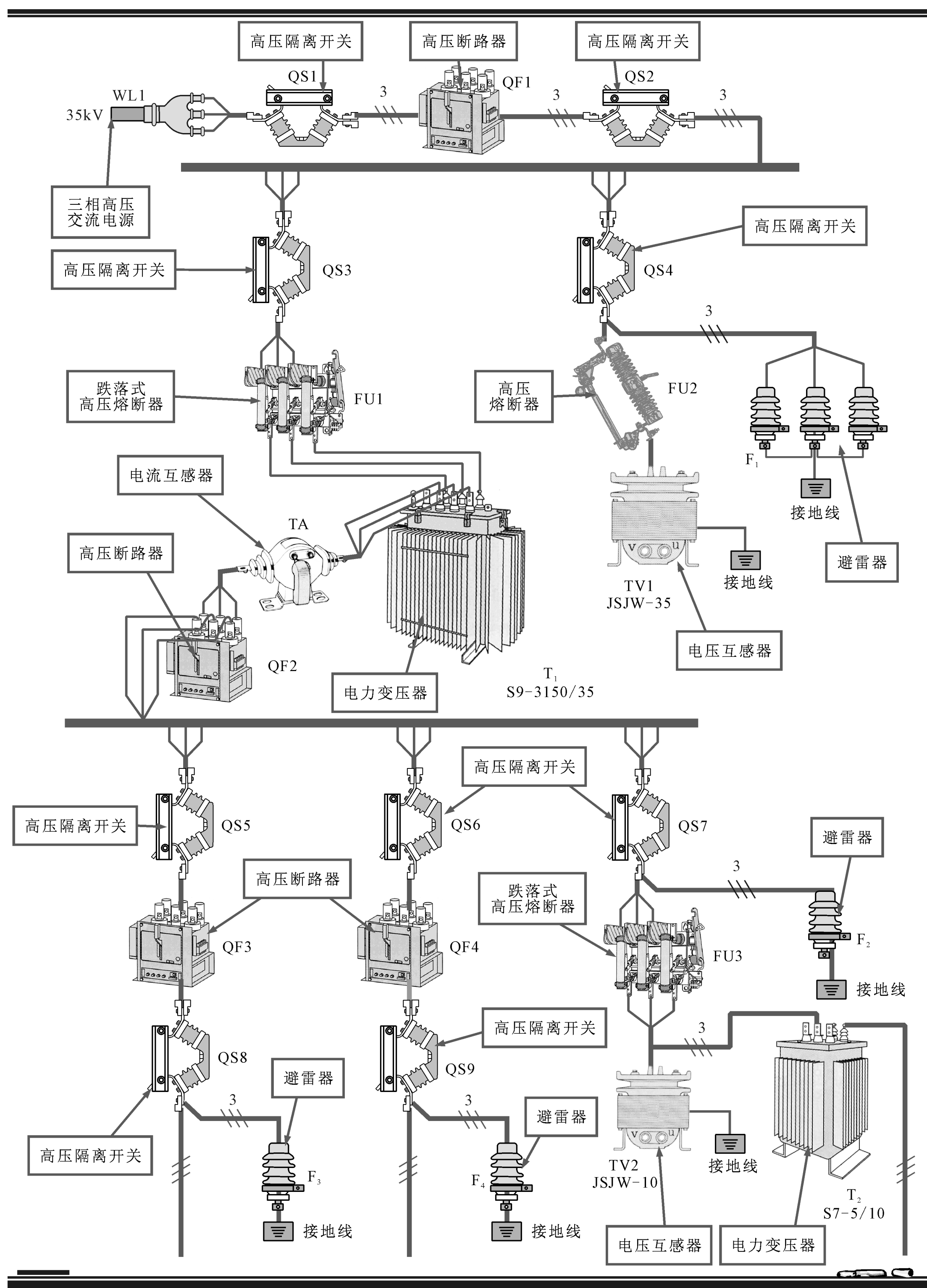


图9-2　典型高压供电系统控制电路的实物连接图

9.1.2　怎样做到对高压供电系统的电气控制



高压供电系统的电气控制主要是依靠高压供电系统（如高压断路器、高压隔离开关等）进行控制的，下面就以典型高压供电系统的电气控制电路为例详细讲解如何对高压供电系统进行电气控制。

图 9-3 所示为典型高压供电系统控制电路的划分，该电路主要是由 35kV 电源进线控制电路、35kV/10kV 降压控制电路和 10kV 输出控制电路三个部分构成的。

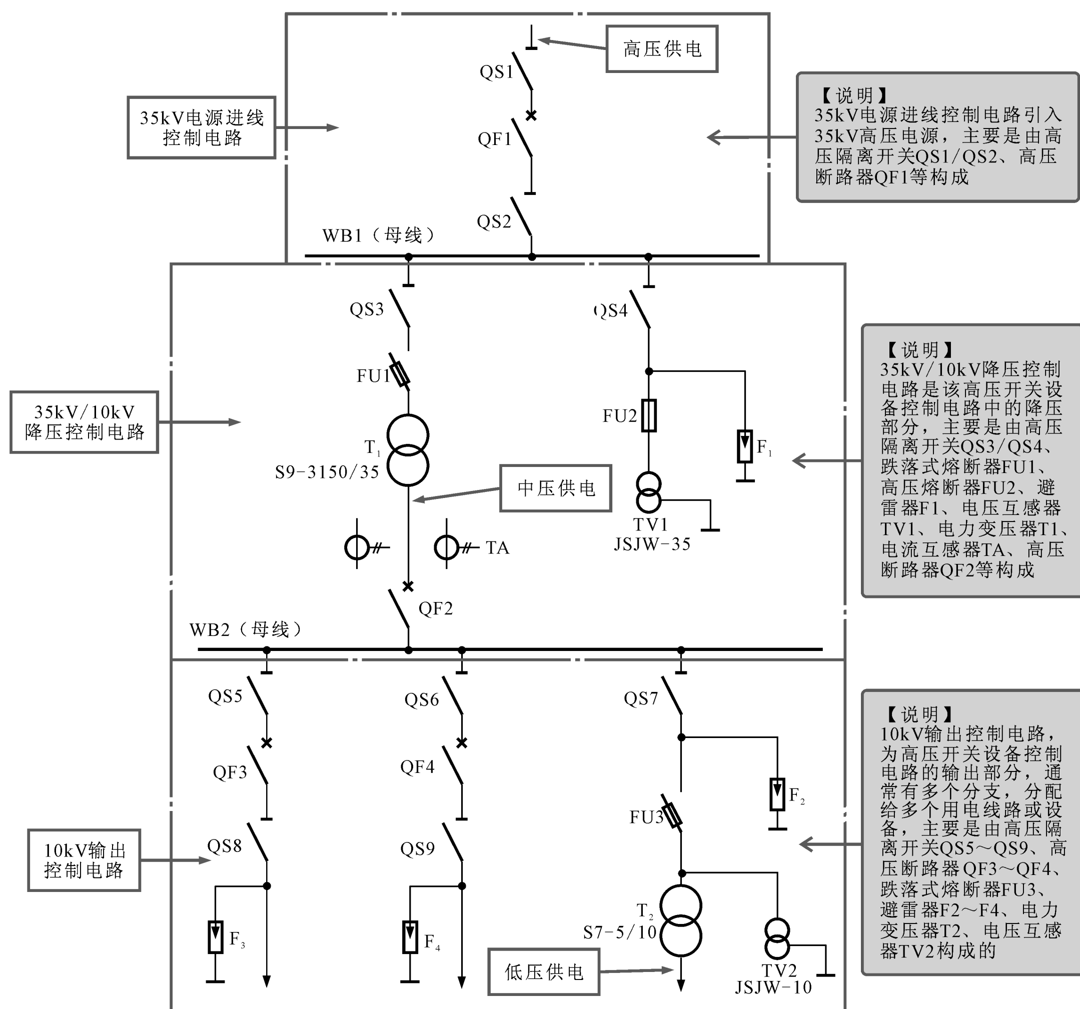


图 9-3　典型高压供电系统控制电路的划分

1. 35kV 高压电源的供电过程

图 9-4 所示为 35kV 高压电源的供电过程。35kV 电源电压经高压架空线路引入后，送至控制电路中。依次接通高压隔离开关 QS1、高压断路器 QF1、高压隔离开关 QS2 后，35kV 电源电压加到母线 WB1 上，为母线 WB1 提供 35kV 电压。

35kV 电源经母线 WB1 后，分为两路。一路经高压隔离开关 QS3、高压跌落式熔断器 FU1 后送至电力变压器 T_1，将 35kV 高压降为 10kV，再经电流互感器、高压断路器 QF2 后加到 WB2 母线上。

另一路经高压隔离开关 QS4 后，连接到高压熔断器 FU2、电压互感器 TV1 以及避雷器 F_1 等高压设备，以便对高压电源进行检测和保护。

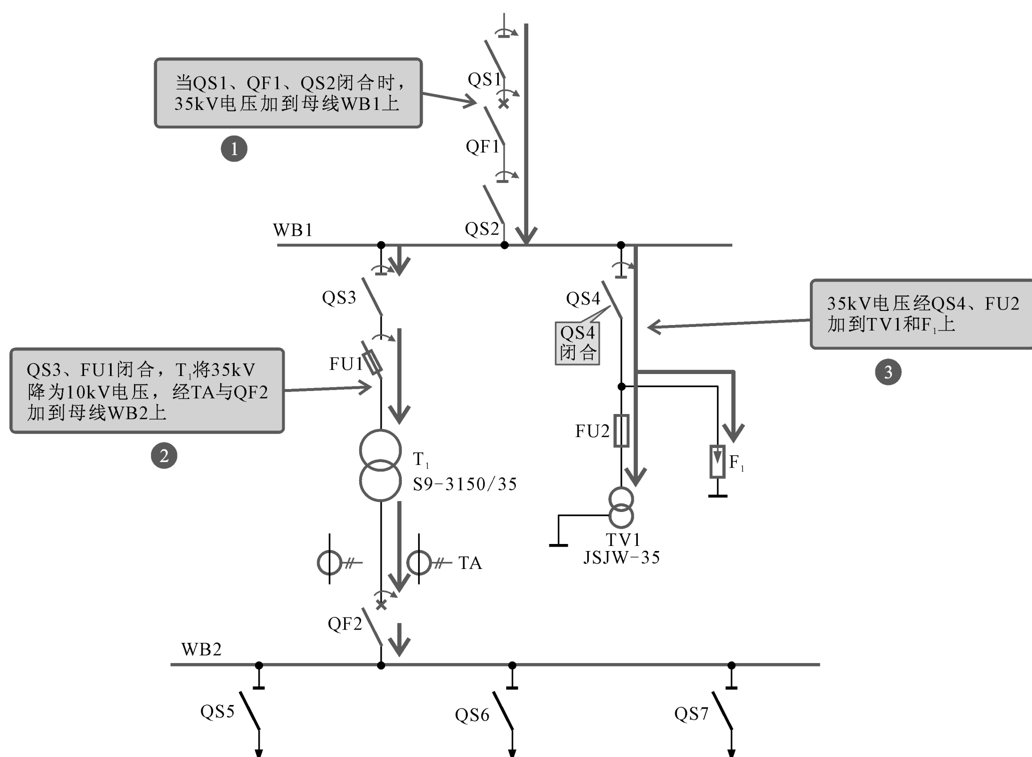


图 9-4　35kV 高压电源的供电过程

2. 10kV 输出控制电路的供电过程

图 9-5 所示为 10kV 输出控制电路的供电过程。10kV 电压加到母线 WB2 后分为三个支路。第一个支路和第二个支路相同，均经高压隔离开关（QS5、QS6、QS8、QS9）、高压断路器（QF3、QF4）后送出，并在线路中安装有避雷器（F_3、F_4）。

第三个支路首先经高压隔离开关 QS7、高压跌落式熔断器 FU3，送至电力变压器 T_2 上，经 T_2 降压为 0.4kV 电压后输出。在变压器 T_2 前部安装有电压互感器 TV2，由电压互感器测量配电线路中的电压。

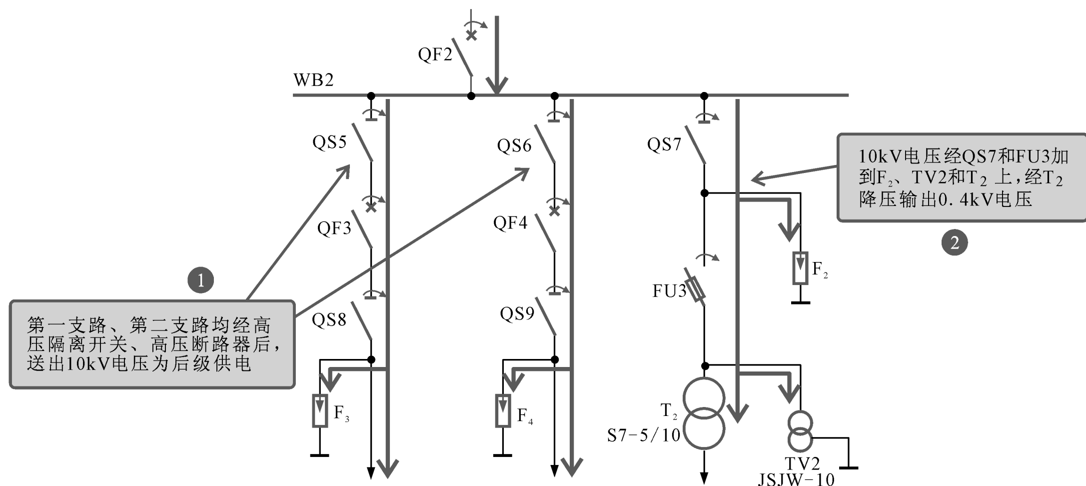


图 9-5　10kV 输出控制电路的供电过程

9.2　这些高压供电系统的电气控制效果是如何实现的



通过前面的学习，我们知道了高压供电系统控制电路构成部件和基本的控制方法，但不同高压供电系统实现的功能不同、选用的部件不同、部件间的组合方式以及数量的选用不同，加之电路上的连接差异，从而产生了多种控制效果。因此，为了进一步巩固所学知识，下面通过一些案例来搞清楚高压电气设备的电气控制效果是通过什么样的方式来实现的。

9.2.1　楼宇变电所高压供电系统的电气控制效果是如何实现的



楼宇变电所高压供电系统控制电路是一种应用在高层住宅小区或办公楼中的变电所，其内部采用多个高压供电系统对线路的通断进行控制，从而为高层的各个楼层进行供电。

图 9-6 所示为典型楼宇变电所高压供电系统控制电路的供电过程。该楼宇变电所高压供电系统控制电路主要是由 1 号电源电路和 2 号电源电路构成的。电路中设置有高压断路器 QF1 ~ QF4、低压断路器 QF5 ~ QF9、电流互感器 TA1/TA2、电压互感器 TV1/TV2、避雷器 F_1/F_2、电力变压器 T_1/T_2 等器件。

1 号电源电路的工作过程：10kV 高压经电流互感器 TA1 送入，在进线处安装有电压互感器 TV1 和避雷器 F_1。合上高压断路器 QF1 和 QF3，10kV 高压经母线后送入电力变压器 T_1 的输入端，T_1 输出端输出 0.4kV 低压。合上低压断路器 QF5 后，0.4kV 低压经 QF5 为用电设备进行供电。

2 号电源电路的工作过程：10kV 高压经电流互感器 TA2 送入，在进线处安装有电压互感器 TV2 和避雷器 F_2。合上高压断路器 QF2 和 QF4，10kV 高压经母线后送入电力变压器 T_2 的输入端，T_2 输出端输出 0.4kV 低压。合上低压断路器 QF6 后，0.4kV 低压经 QF6 为用电设备进行供电。



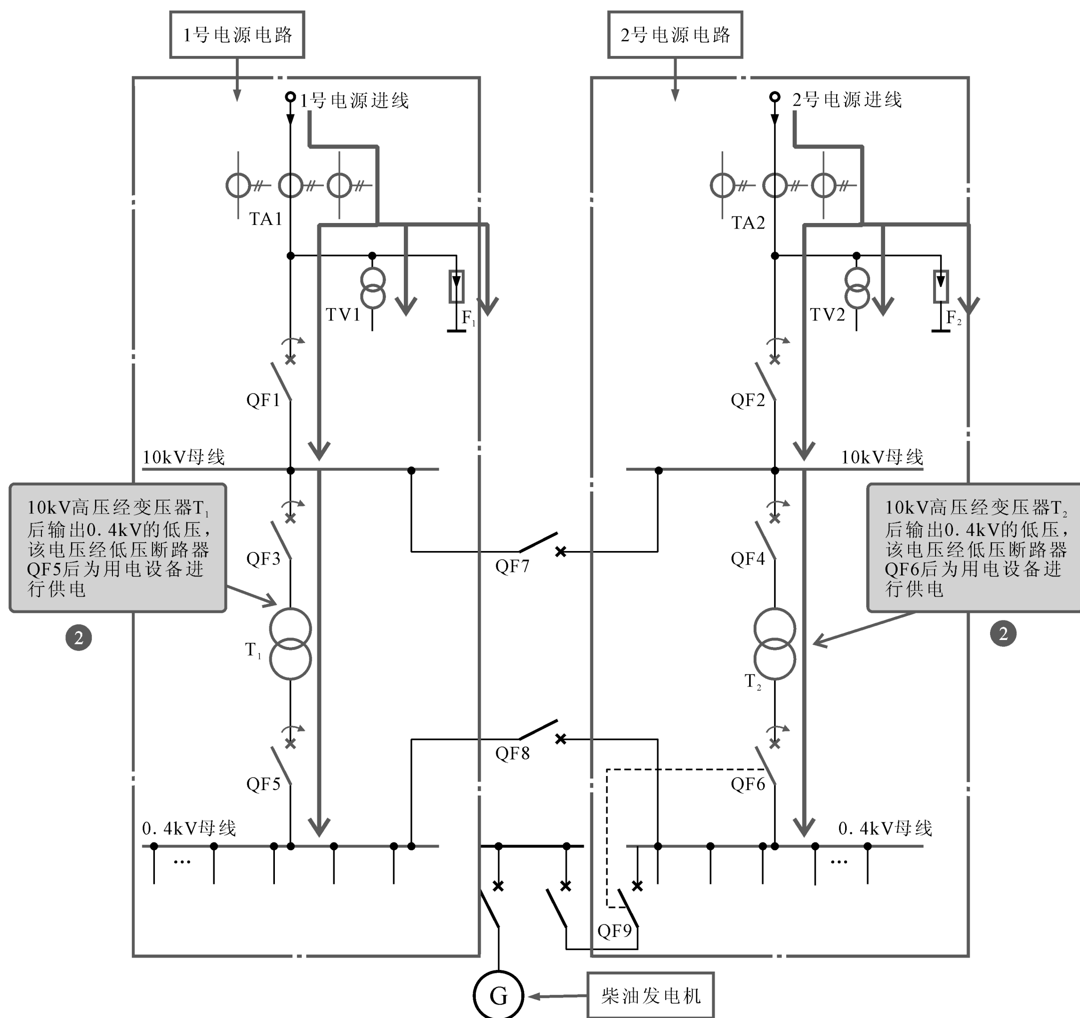


图 9-6　典型楼宇变电所高压供电系统控制电路的供电过程



【注意】

两路电源的备用工作过程如图 9-7 所示。若一台电力变压器出现故障，可由另一台电力变压器提供电压，以 1 号电源电路中的电力变压器 T_1 出现故障为例：当 1 号电源电路中的电力变压器 T_1 出现故障后，1 号电源电路停止工作；合上低压断路器 QF8，2 号电源电路输出的 0.4kV 电压便会经 QF8 为 1 号电源电路中的负载设备供电，以维持其正常工作。此外，在该电路中还设有柴油发电机 G，在两路电源均出现故障后，则可起动柴油发电机，进行临时供电。

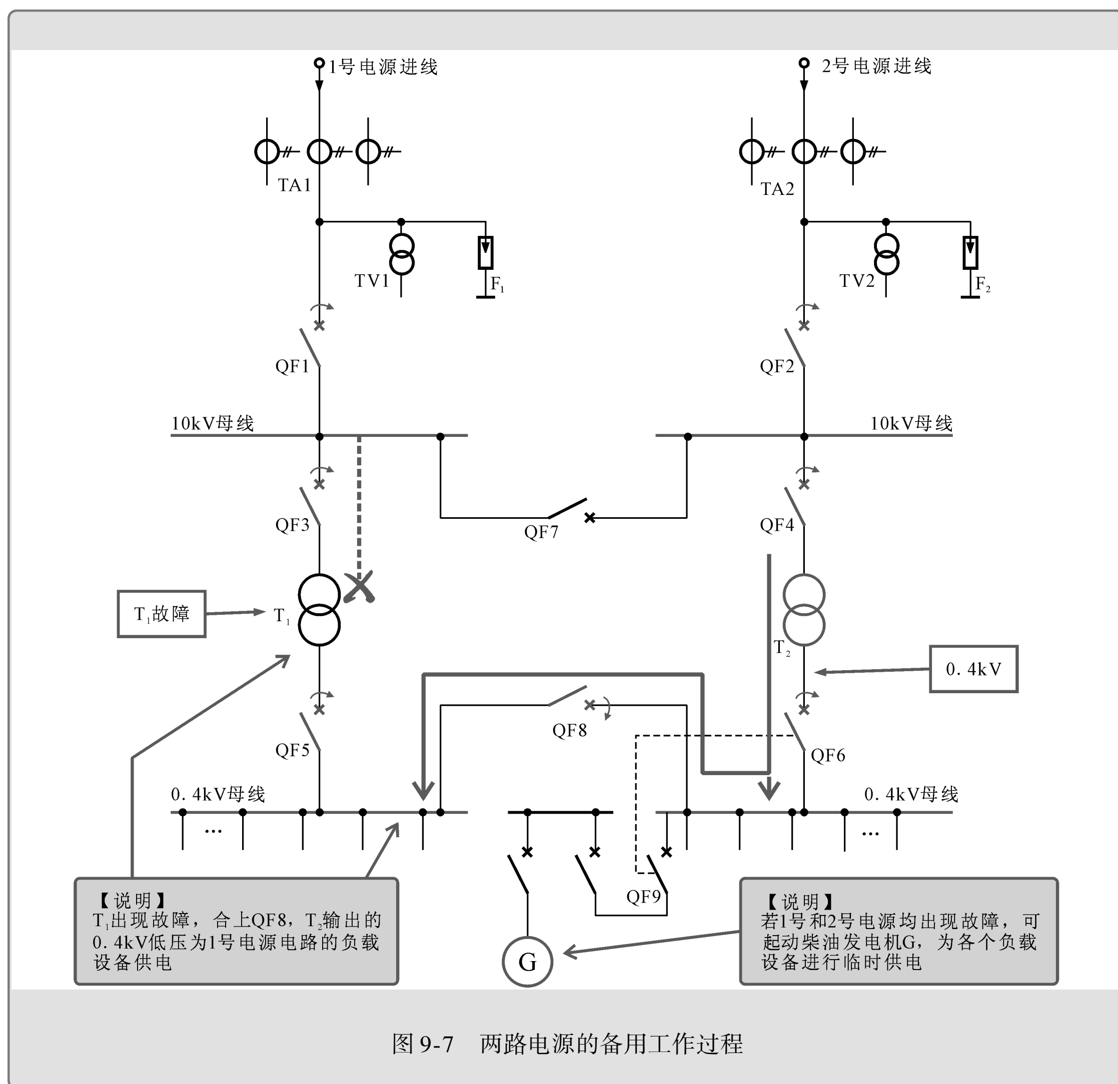


图 9-7　两路电源的备用工作过程

9.2.2　企业 10kV 配电柜高压供电系统的电气控制是如何实现的



企业 10kV 配电柜高压供电系统控制电路是一种企业中比较常见的配电线路，可将 10kV 的高压通过配电线路为各个设备进行供电，在线路中还接有电流互感器等设备。此外电路中还接有备用电源，在主电源出现故障时，可维持负载设备的正常工作。

1. 控制电路的供电过程

图 9-8 所示为典型企业 10kV 配电柜高压供电系统控制电路的供电过程。该电路主要是由主电源进线电路、高压配电柜以及备用电源进线电路构成的。电路中包括高压隔离开关 QS1 ~ QS10、高压断路器 QF1 ~ QF6、电流互感器 TA1 ~ TA6、电压互感器 TV1/TV2、避雷器 F_1/F_2、电力变压器 T_1/T_2 等器件。

在电源进线处设置有避雷器 F_1 和 F_2、电压互感器 TV1 等设备。合上高压隔离开关 QS2 和高压断路器 QF1，10kV 高压经 QS2 和 QF1、电流互感器 TA1 送入 10kV 母线中，10kV 母线将高压分为多路，为各个配电柜进行供电。在每个分支供电电路中，都设有控制供电的开关（高压隔离开关和高压断路器），可单独进行控制。

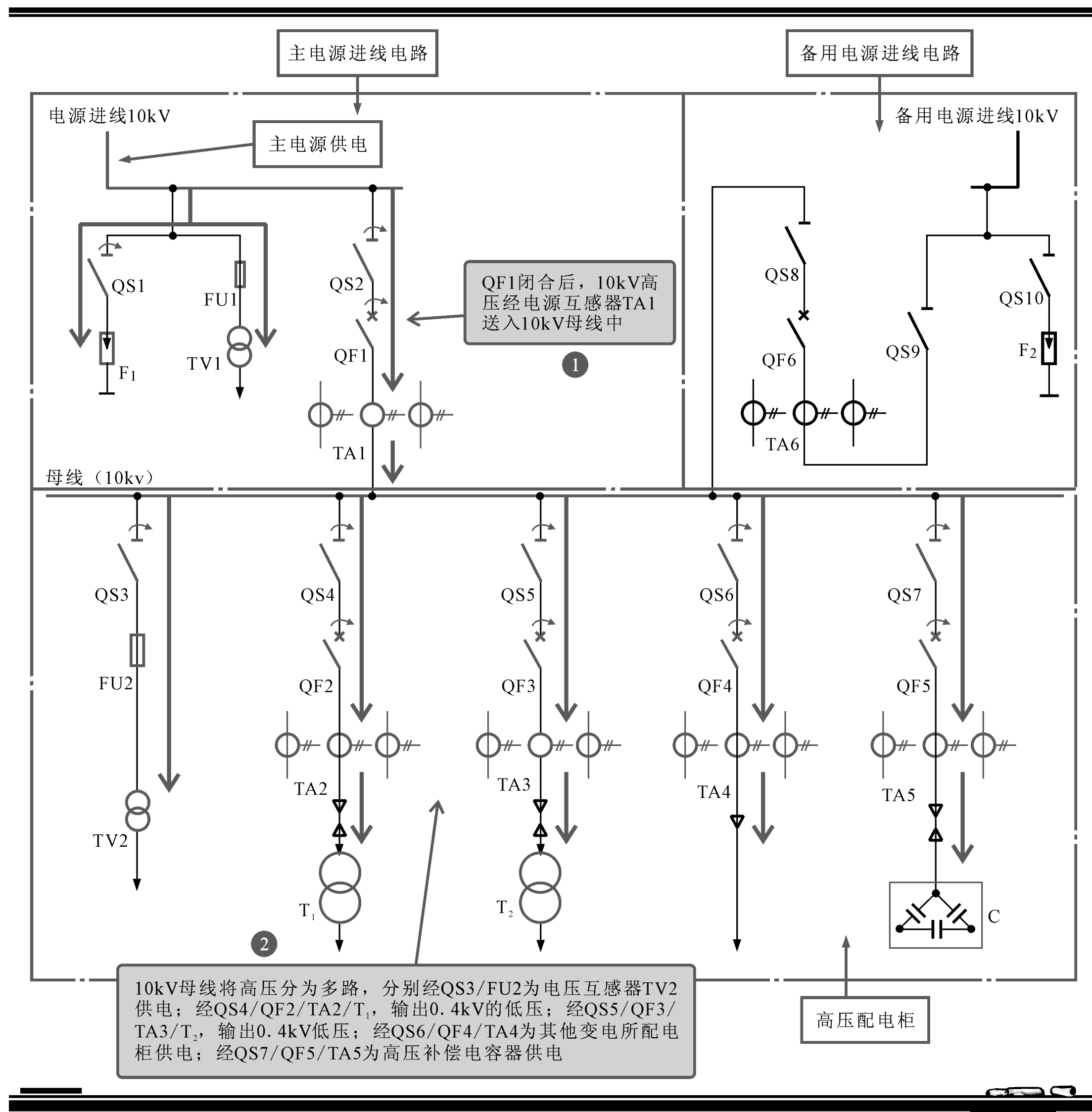


图 9-8　典型企业 10kV 配电柜高压供电系统控制电路的供电过程

2. 备用电源的工作过程

图 9-9 所示为备用电源的工作过程。当主电源电路出现故障后，可合上高压隔离开关 QS8 和 QS9，以及高压断路器 QF6，备用电源的 10kV 高压经 TA6 为母线继续供电，确保高压配电柜能够继续工作。

9.2.3　工厂配电高压供电系统的电气控制是如何实现的



工厂配电高压供电系统控制电路是一种为工厂车间进行供电的配线系统，电路中设置有多个高压供电系统，例如高压断路器、高压隔离开关等设备，这些开关设备可以控制线路的通断，从而为车间的用电设备进行供电。

图 9-10 所示为典型工厂配电高压供电系统控制电路。该电路主要包括高压隔离开关 QS1 ~ QS25、高压断路器 QF1 ~ QF16、高压负荷隔离开关 QL1 ~ QL3、电力变压器 T_1 ~ T_8 等器件。

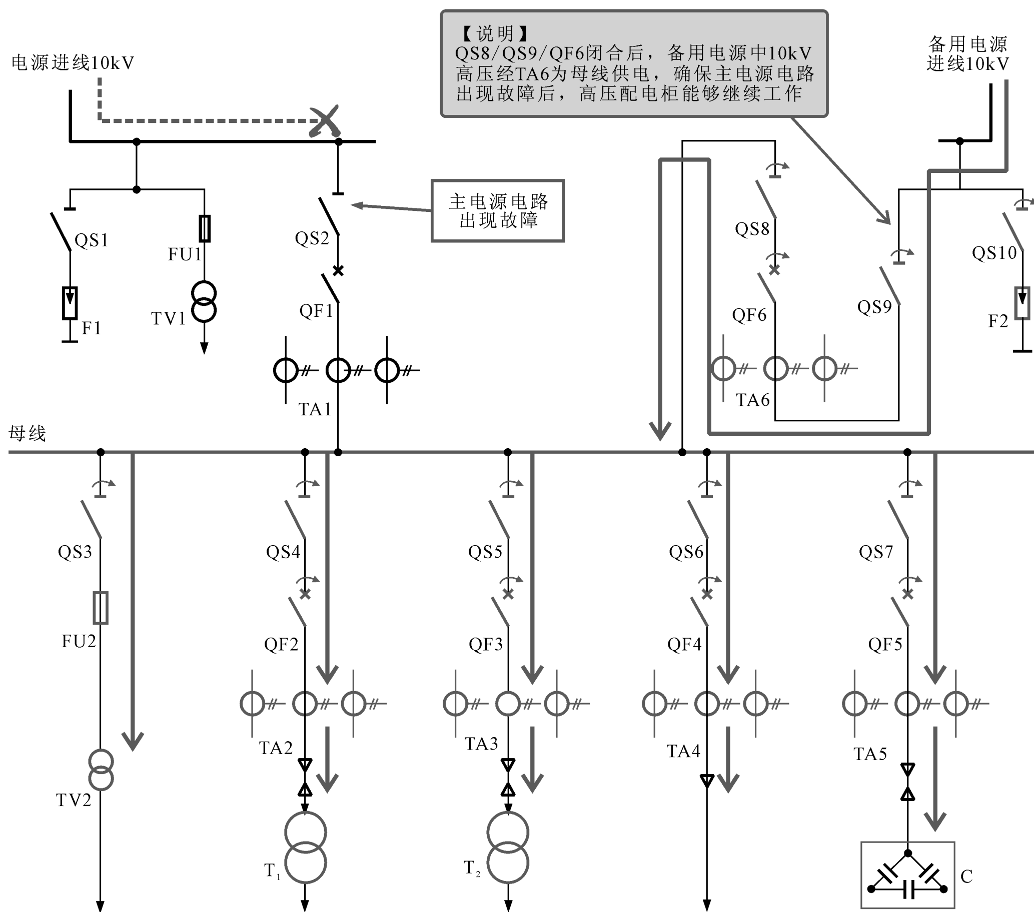


图 9-9　备用电源的工作过程

高压配电线路主要有两条，分别为 1 号配电线路和 2 号配电线路。1 号配电线路中，35kV 高压经高压隔离开关 QS1 和 QS3、高压断路器 QF1 送入电力变压器 T_1 的输入端上，T_1 降压后输出 6kV 高压，经高压断路器 QF4 和高压隔离开关 QS7，送到 6kV 母线 WB1 上。

6kV 母线 WB1 分为多路，为各个车间进行供电。一路经高压隔离开关 QS9、高压断路器 QF6 和高压负荷隔离开关 QL1 送入电力变压器 T_3 的输入端，T_3 输出端输出的电压为金工车间进行供电。

一路经高压隔离开关 QS10、高压断路器 QF7 和高压负荷隔离开关 QL2 送入电力变压器 T_4 的输入端，T_4 输出端输出的电压为铸件清理车间进行供电。

一路经高压隔离开关 QS11、高压断路器 QF8、高压隔离开关 QS18/QS22、高压断路器 QF13 送入电力变压器 T_5 的输入端，T_5 输出端输出的电压为铸钢车间进行供电。

一路经高压隔离开关 QS12、高压断路器 QF9、高压隔离开关 QS19/QS23、高压断路器 QF14 送入电力变压器 T_6 的输入端，T_6 输出端输出的电压为铸铁车间进行供电。

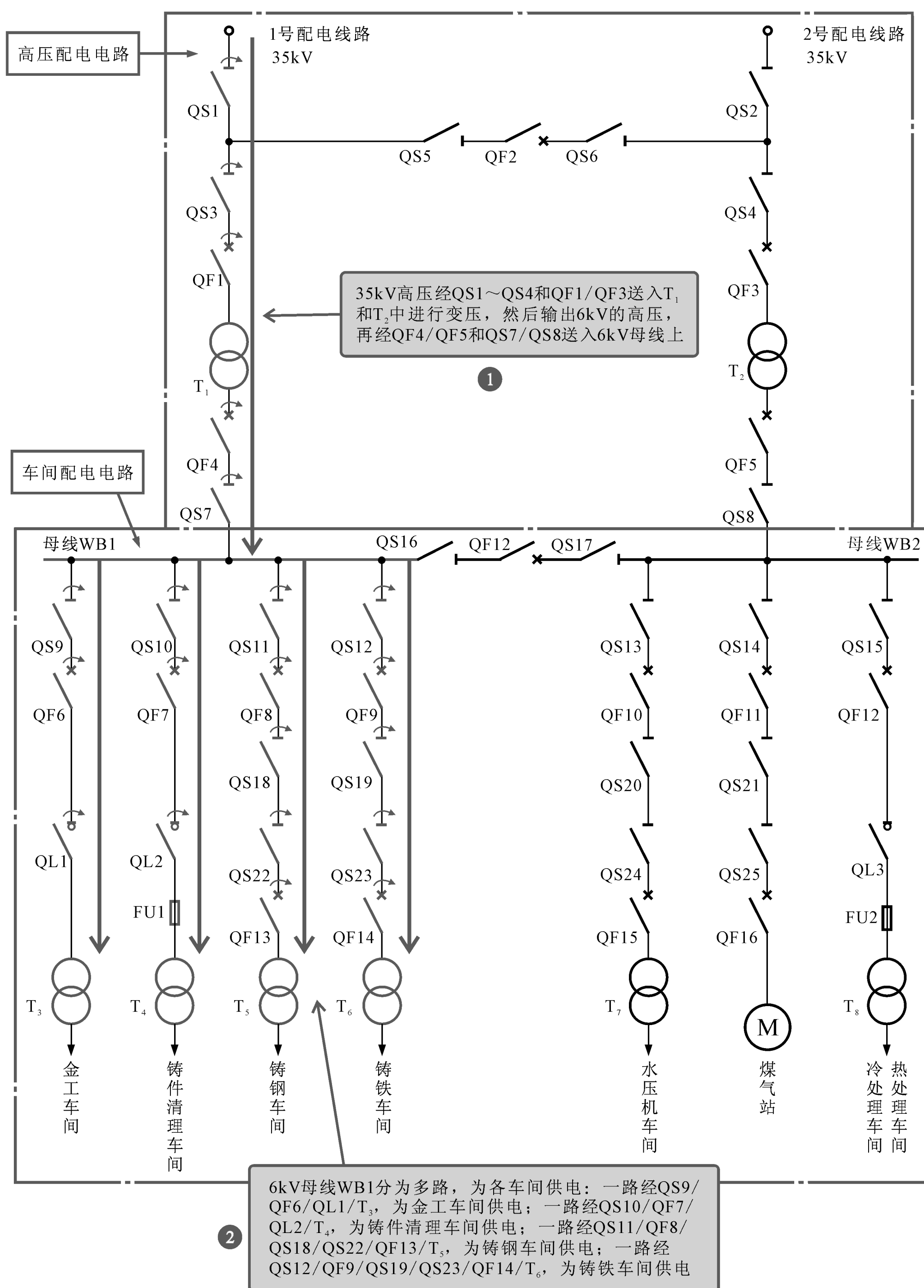


图9-10 典型工厂配电高压供电系统控制电路



【注意】

高压隔离开关QS5/QS6/QS16/QS17、高压断路器QF2/QF12为1号配电线路和2号配电线路的连接开关，当其中一路出现故障后，便可以闭合这些开关，维持线路供电。

提问

2号配电线路与1号配电线路很相似，工作过程应该也是一样的吧？





回答

2号配电线路与1号线路结构相同，35kV高压经高压隔离开关QS2和QS4、高压断路器QF3送入电力变压器T2的输入端上，经降压后输出6kV高压，经高压断路器QF5和高压隔离开关QS8，送入6kV母线WB2上。

6kV母线WB2又分为多路，为各个车间进行供电。一路经高压隔离开关QS13、高压断路器QF10、高压隔离开关QS20/QS24、高压断路器QF15送入电力变压器T_7的输入端，T_7输出端输出的电压为水压机车间进行供电。

一路经高压隔离开关QS14、高压断路器QF11、高压隔离开关QS21/QS25、高压断路器QF16，为煤气站进行供电。

最后一路经高压隔离开关QS15、高压断路器QF12、高压负荷隔离开关QL3送入电力变压器T_8的输入端，T_8输出端输出的电压为冷处理和热处理车间进行供电。

第10章 通过案例搞清楚工业电气设备的电气控制



现在，开始进入第 10 章的学习，本章我们要了解常用工业电气设备的电气控制过程。在电气控制技术应用领域，工业电气设备占有很大的比重。目前很多工业电气设备都采用现代化的电气控制技术，不同种类的电气部件组合，不同方式的电气设备连接关系，导致工业电气设备的功能多种多样。

为了能够在短时间内搞清工业电气设备的电气控制，我们依托大量实际应用案例，从工业电气设备的电路构成入手，找到工业电气设备控制电路中的主要组成部件，建立其相互连接关系，进而对工业电气设备控制电路的工作方式进行分析，从一个个控制过程中，梳理出工业电气设备控制电路的控制过程。

相信通过对下面精心筛选的经典应用案例的分析，大家很快就能搞清工业电气设备的电气控制特色。

10.1 了解一下工业电气设备的电气控制过程



本节主要是对工业电气设备的控制过程进行了解，首先需要看一下工业电气设备的控制电路中有哪些部件，然后再分别了解各种器件的功能，分析一下这个电路是怎样实现控制过程的，通过这些知识的学习，初步对工业电气设备的控制过程有所了解。

10.1.1 看看工业电气设备的电气控制电路中有哪些器件



工业电气设备是指使用在工业生产中的电气设备，随着技术的发展和人们生活水平的提升，工业电气设备的种类越来越多，例如机床设备、电梯控制设备、货物升降机控制设备、电动葫芦、给排水控制设备等。不同工业电气设备所选用的控制器件、功能部件、连接部件以及电动机等基本相同，但根据选用部件数量的不同以及对不同器件间的不同组合，便可以实现不同的功能。图 10-1 所示为典型工业电气设备的电气控制电路。

由图 10-1 可知，典型工业电气设备的电气控制电路主要是由电源总开关、熔断器、过热保护继电器、转换开关、交流接触器、起动按钮（不闭锁的常开按钮）、停止按钮、照明灯、三相交流电动机等部件构成的。根据图 10-1 所示的电气控制电路图通过连接导线将相关的部件进行连接后，即构成了工业电气设备的电气控制电路，如图 10-2 所示。

10.1.2 怎样做到对工业电气设备的电气控制



工业电气设备是依靠起动按钮、停止按钮、转换开关、交流接触器、过热保护继电器等控制部件来对电动机进行控制的，再由电动机带动电气设备中的机械部件运作，从而实现对电气设备的控制。图 10-3 为典型工业电气设备的电气控制图。

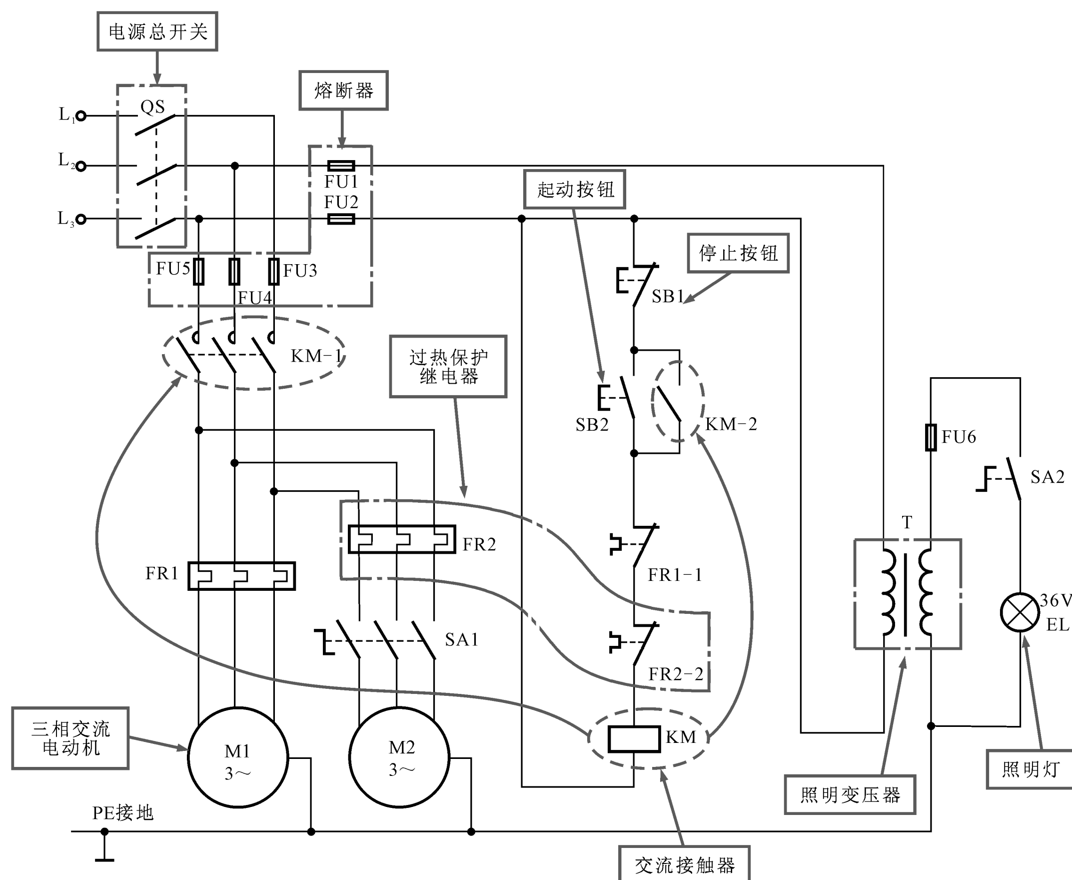


图 10-1 典型工业电气设备的电气控制电路

由图 10-3 可知，该电气设备的电气控制电路可以划分为供电电路、保护电路、控制电路、照明灯电路等，各电路之间相互协调，通过控制部件最终实现对各电气设备的合理控制，下面我们就分别学习一下控制部件是怎么对各电气设备进行控制的。

1. 主轴电动机的起动过程

当控制主轴电动机起动时，需要先合上电源总开关 QS，接通三相电源，如图 10-4 所示，然后按下起动按钮 SB2，其内部常开触点闭合，此时交流接触器 KM 线圈得电。

由图 10-4 可知，当交流接触器 KM 线圈得电后，常开辅助触点 KM-2 闭合自锁，使 KM 线圈保持得电。

常开主触点 KM-1 闭合，电动机 M1 接通三相电源，开始运转。

2. 冷却泵电动机的控制过程

通过电气控制图可知，只有在主轴电动机 M1 得电运转后，转换开关 SA1 才能起作用，才可以对冷却泵电动机 M2 进行控制，如图 10-5 所示。



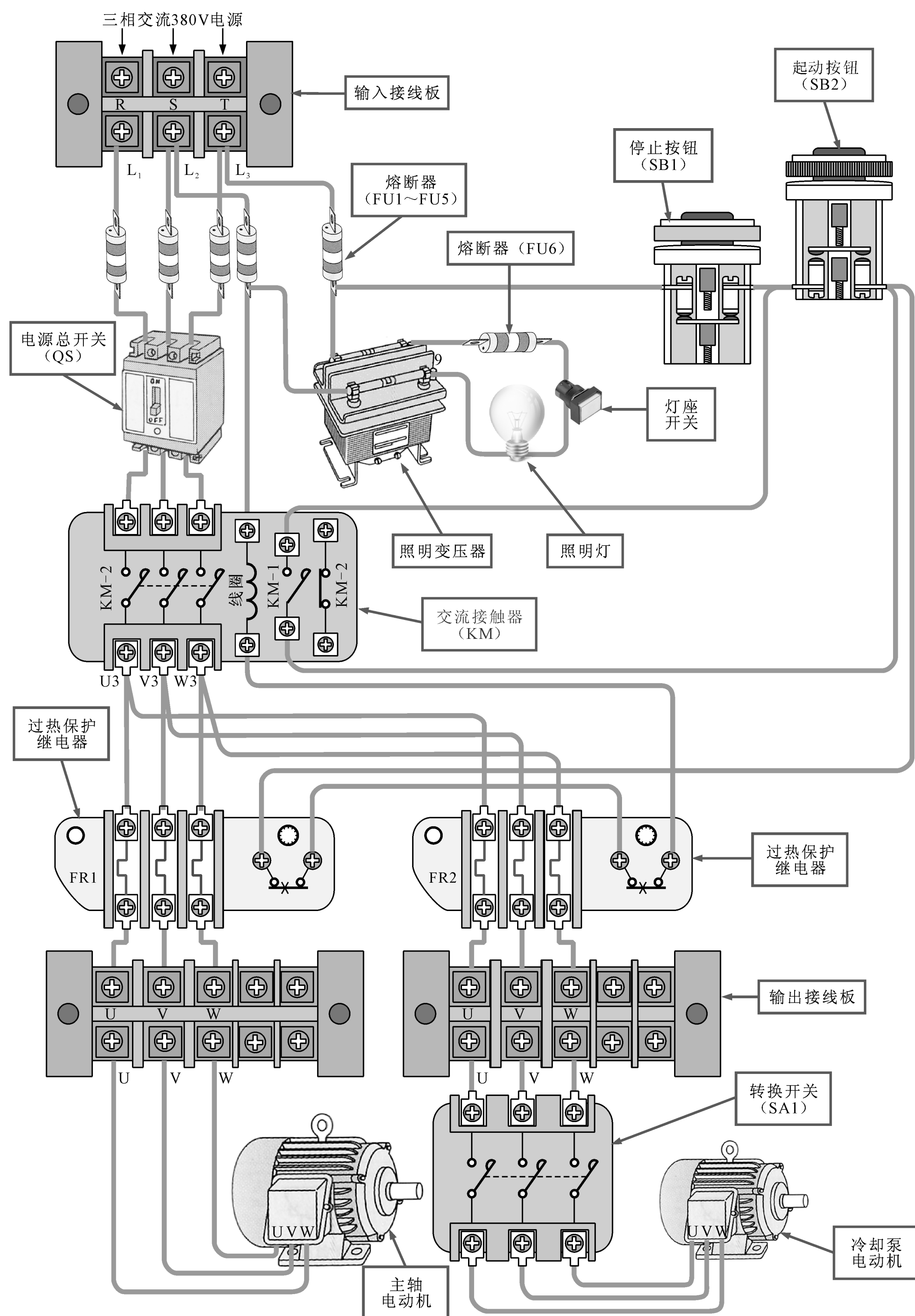


图10-2　典型工业电气设备及控制电路的主要部件及实物连接图（C620-1车床）

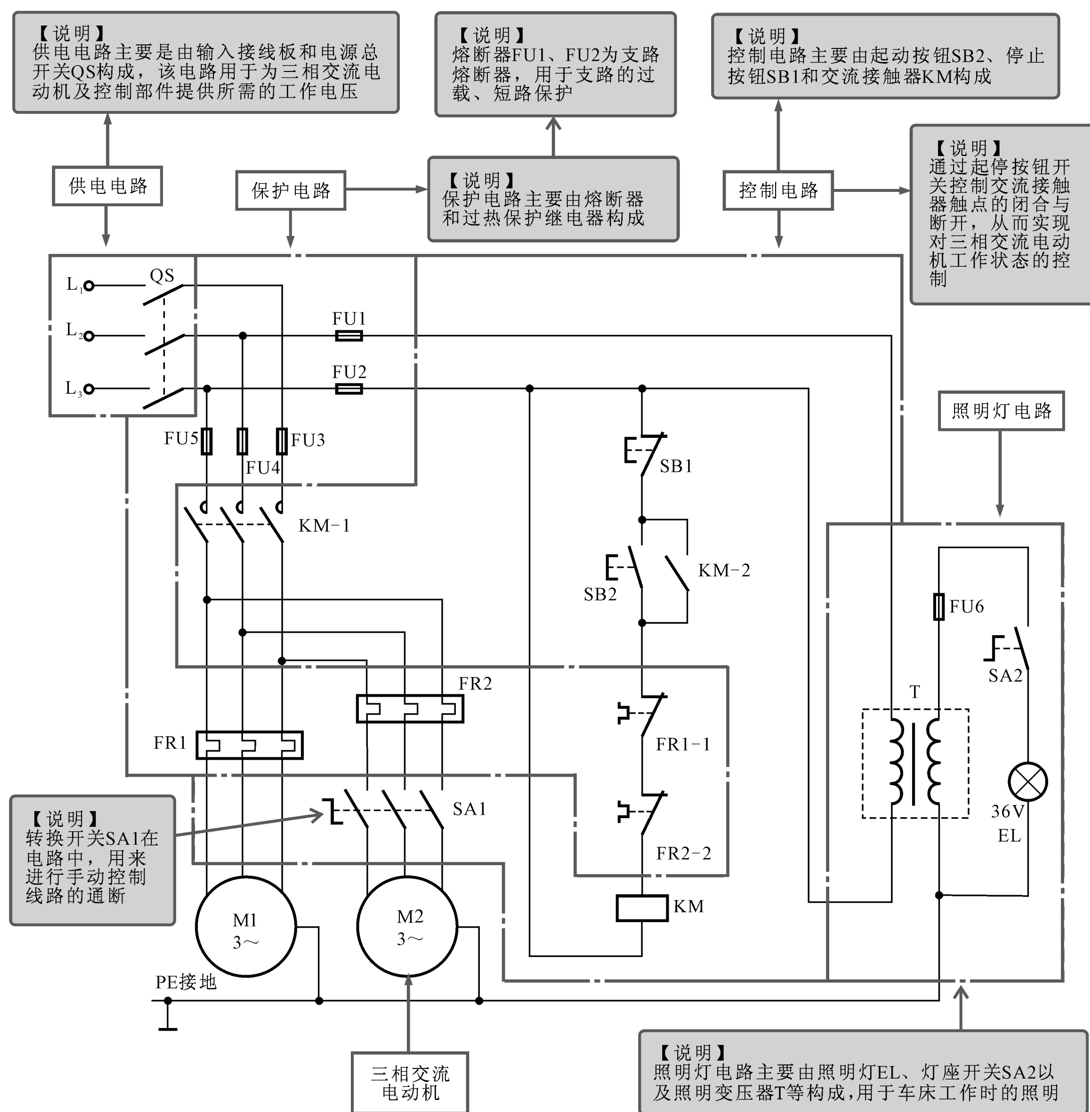


图 10-3　典型工业电气设备的电气控制图

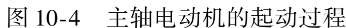


图 10-4　主轴电动机的起动过程

转换开关 SA1 在断开状态时，冷却泵电动机 M2 处于待机状态；转换开关 SA1 闭合，冷却泵电动机 M2 接通三相电源，开始起动运转。

3. 照明灯的控制过程

在该电路中，照明灯的 36 V 供电电压是由照明变压器 T 次级输出的。

照明灯 EL 的亮/灭状态，受灯座开关 SA2 的控制，如图 10-6 所示。在需要照明灯时，可将 SA2 旋至接通的状态，此时照明变压器次级通路，照明灯 EL 亮。

将 SA2 旋至断开的状态，照明灯处于灭的状态。

4. 电动机的停机过程

若是需要对该电路进行停机操作时，按下停止按钮 SB1，切断电路的供电电源，此时交流接触器 KM 线圈失电，其触点全部复位。

常开主触点 KM-1 复位断开，切断电动机供电电源，停止运转。

常开触助触点 KM-2 复位断开，解除自锁功能。

L1 QS L2 L3 FU1 FU2 FU3～FU5 SB1 KM-1 转换开关SA1 SB2 KM-2 FU6 SA2 T FR2 FR1-1 FR1 SA1 36V EL FR2-2 KM M1 3～ M2 3～ PE接地

将转换开关SA1闭合，冷却泵电动机M2接通三相电源，开始运转

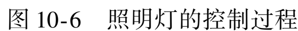

图 10-5　冷却泵电动机的控制过程

L1 QS L2 L3 FU1 FU2 FU3～FU5 SB1 KM-1 SB2 KM-2 FU6 SA2 T FR2 FR1 FR1-1 SA1 36V EL FR2-2 KM M1 3～ M2 3～ PE接地

需要照明灯时，将SA2旋至接通的状态。此时照明变压器二次通路，照明灯EL亮

照明变压器

【说明】照明灯EL的36V供电电压，是由照明变压器T二次输出的


图 10-6　照明灯的控制过程



10.2 这些工业电气设备的电气控制效果是如何实现的


通过前面的学习，我们知道了工业电气设备的主要构成部件和基本的控制方法，但由于不同工业电气设备实现功能的不同、选用的部件不同、部件间的组合方式以及数量的选用不同，加之电路上的连接差异，从而产生了多种控制效果。因此，为了进一步巩固所学知识，下面通过一些案例来搞清楚工业电气设备的电气控制效果是通过什么样的方式来实现的。

10.2.1 带有继电器的电动机供电控制电路是如何实现的


带有继电器的电动机供水控制电路一般用于供水电路中，这种电路通过液位检测传感器检测水箱内水的高度，当水箱内的水量过低时，电动机带动水泵运转，向水箱内注水；当水箱内的水量过高时，则电动机自动停止运转，停止注水。图 10-7 为带有继电器的电动机供水控制电路的电路图。

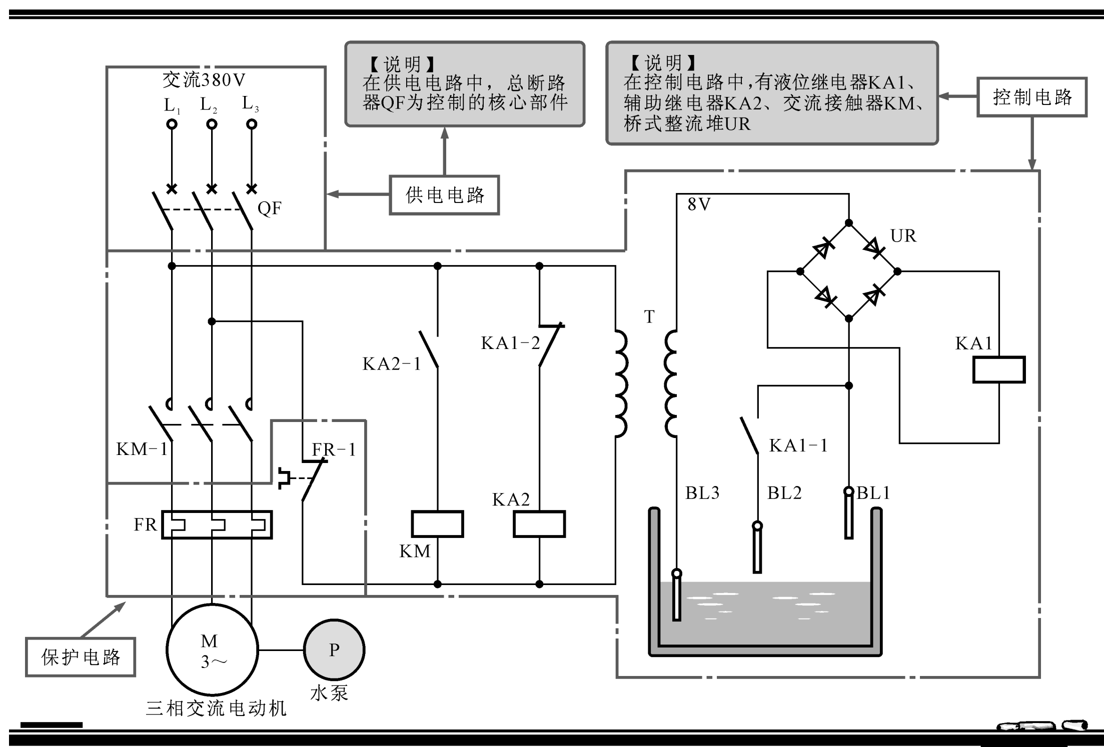


图 10-7 带有继电器的电动机供水控制电路的电路图

由图 10-7 可知，带有继电器的电动机供水控制电路主要由供电电路、保护电路、控制电路和三相交流电动机等构成。

1. 低水位时电动机的运行供水过程

合上总断路器 QF，接通三相电源，如图 10-8 所示，当水位处于电极 BL1 以下时，各电极之间处于开路状态。

辅助继电器 KA2 线圈得电，相应的触点进行动作。

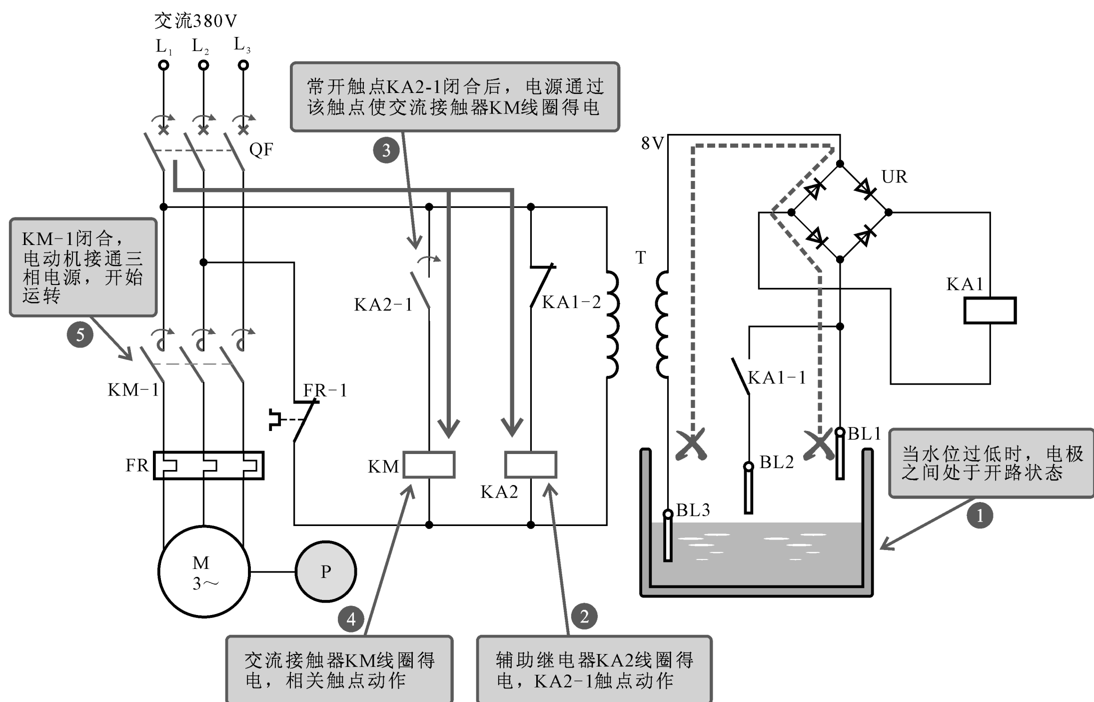


图 10-8　低水位时电动机的运行供水过程

由图 10-8 可知，当辅助继电器 KA2 线圈得电后，常开触点 KA2-1 闭合，交流接触器 KM 线圈得电，常开主触点 KM-1 闭合，电动机接通三相电源，三相交流电动机带动水泵运转，开始供水。

提问　电极之间开路和辅助继电器 KA2 线圈有什么关系呢？开路后辅助继电器 KA2 的线圈就会有电了吗？





通过电气控制电路图可知，辅助继电器 KA2 的线圈是否得电，还受触点 KA1-2 的控制，而该触点是由液位继电器 KA1 来控制的。

若电极之间为通路时，电路导通，液位继电器 KA1 线圈得电，此时常闭触点 KA1-2 则会断开，这样一来的话，辅助继电器 KA2 的线圈就会失电，所以只有电极之间处于开路状态时，触点 KA1-2 为原始闭合状态，辅助继电器 KA2 线圈才会得电。

2. 高水位时电动机的停止供水过程

当水位处于电极 BL1 以上时，由于水的导电性，各电极之间处于通路状态，如图 10-9 所示，此时 8 V 交流电压经桥式整流堆 UR 整流后，为液位继电器 KA1 线圈供电。其常开触点 KA1-1 闭合，常闭触点 KA1-2 断开，使辅助继电器 KA2 线圈失电。



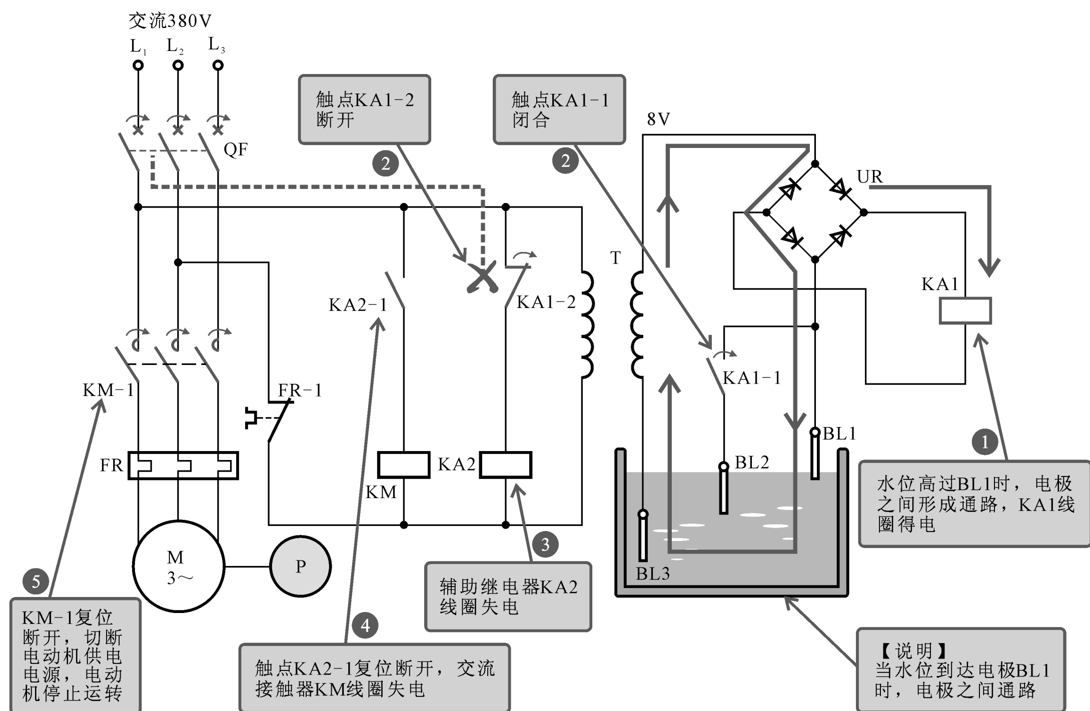


图 10-9　高水位时电动机的停止供水过程

由图 10-9 可知，辅助继电器 KA2 线圈失电，常开触点 KA2-1 复位断开；交流接触器 KM 线圈失电，常开主触点 KM-1 复位断开，电动机切断三相电源，停止运转，供水作业停止。

提问

液位继电器中的触点 KA1-1 的闭合起到什么作用了呢？它的闭合与断开对电路有什么影响吗？怎么看上去没有关系呢？





在该电路中液位继电器 KA1 中的触点 KA1-1 设置在电极 BL2 的电路中，在此处可实现两个功能：

一是当液位低于电极 BL1，但未低于电极 BL2 时，仍能保证该电路为接通状态，液位继电器 KA1 线圈处于得电状态，即不需要供水操作。

二是当液位低于电极 BL2 时，电极之间处于断开状态，此时液位继电器 KA1 线圈失电，相关触点复位，为供电做好准备。

回答

10.2.2　货物升降机的自动运行控制电路是如何实现的



货物升降机的自动运行控制电路主要是通过一个控制按钮控制升降机自动在两个高度升降作业（如两层楼房），即将货物提升到固定高度，等待一段时间后，升降机会自动下降到规定的高度，以便进行下一次提升搬运。

图 10-10 所示为典型货物升降机的自动运行控制电路。

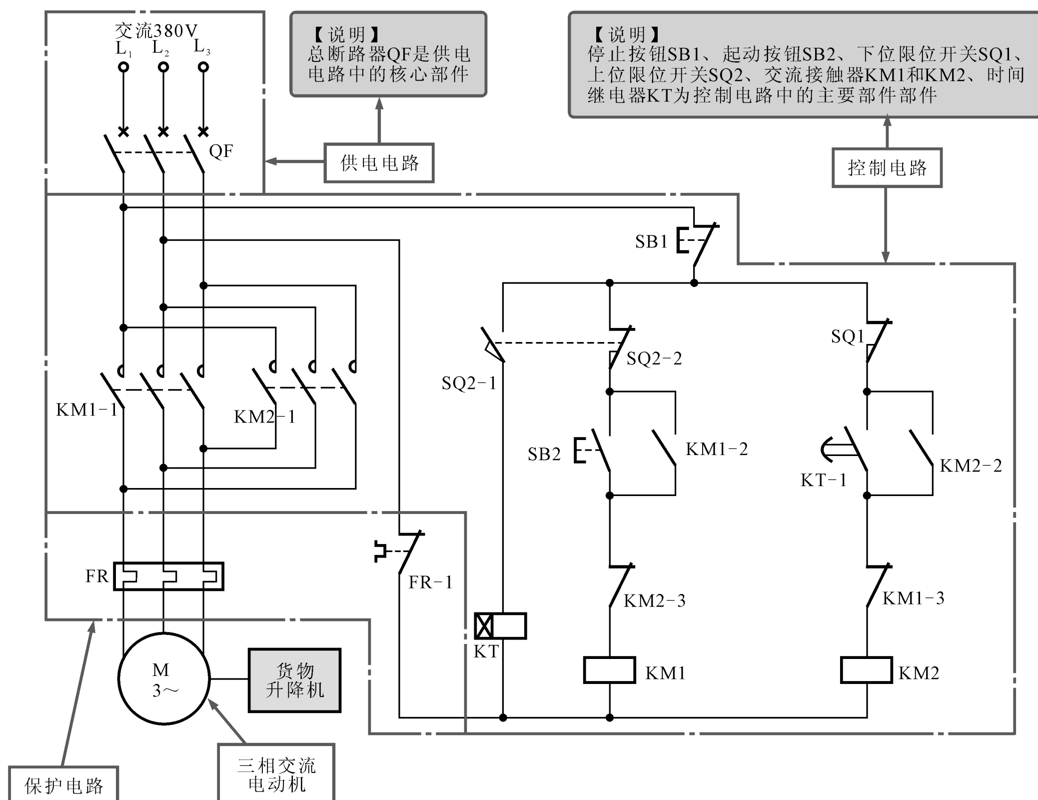


图 10-10　典型货物升降机的自动运行控制电路

由图 10-10 可知，货物升降机的自动运行控制电路主要由供电电路、保护电路、控制电路、三相交流电动机和货物升降机等构成。

1. 货物升降机的上升过程

若要上升货物升降机时，首先合上总断路器 QF，接通三相电源，如图 10-11 所示，然后按下起动按钮 SB2，此时交流接触器 KM1 线圈得电，相应触点动作：

常开辅助触点 KM1-2 闭合自锁，使 KM1 线圈保持得电；

常开主触点 KM1-1 闭合，电动机接通三相电源，开始正向运转，货物升降机上升；

常闭辅助触点 KM1-3 断开，防止交流接触器 KM2 线圈得电。

2. 货物升降机上升至 SQ2 时的停机过程

当货物升降机上升到规定高度时，上位限位开关 SQ2 动作，（即 SQ2-1 闭合，SQ2-2 断开），如图 10-12 所示。

常开触点 SQ2-1 闭合，时间继电器 KT 线圈得电，进入定时计时状态；

常闭触点 SQ2-2 断开，交流接触器 KM1 线圈失电，触点全部复位；

常开主触点 KM1-1 复位断开，切断电动机供电电源，停止运转。



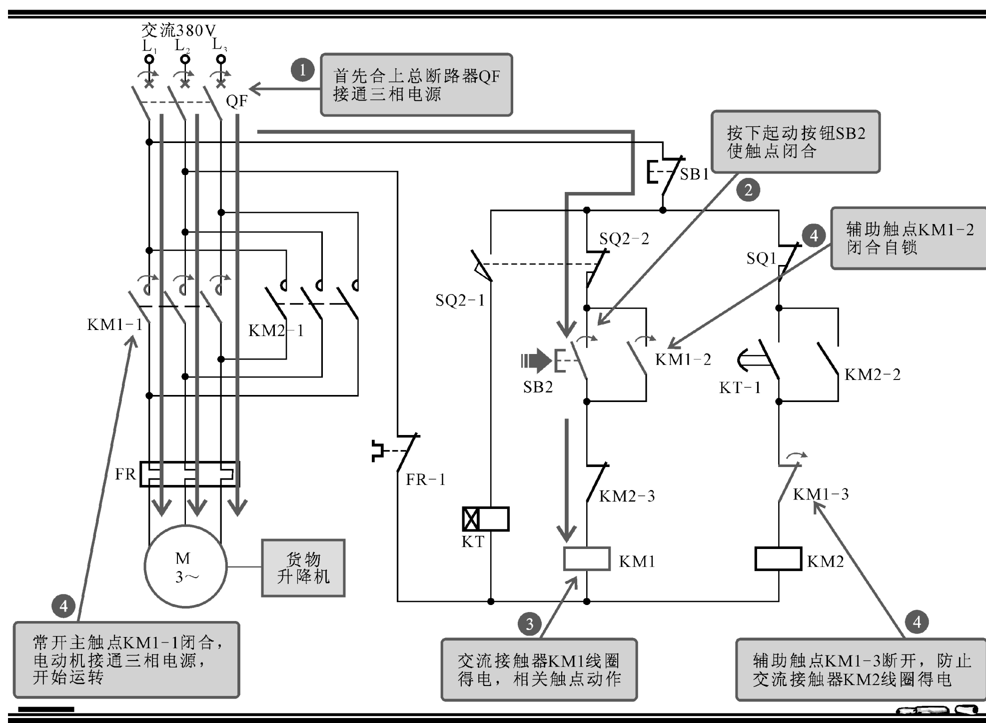


图 10-11　货物升降机的上升过程

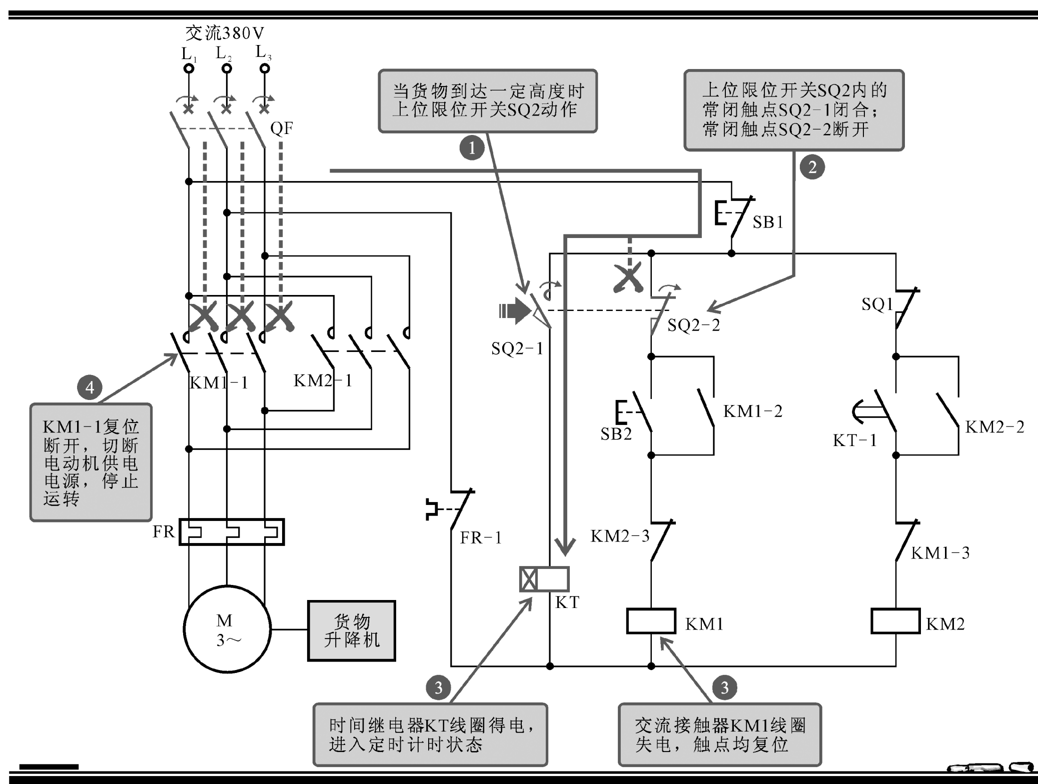


图 10-12　货物升降机上升至 SQ2 时停机过程

3. 货物升降机的下降过程

当时间达到时间继电器 KT 设定的时间后，其触点进行动作，常开触点 KT-1 闭合，使交流接触器 KM2 线圈得电，如图 10-13 所示。

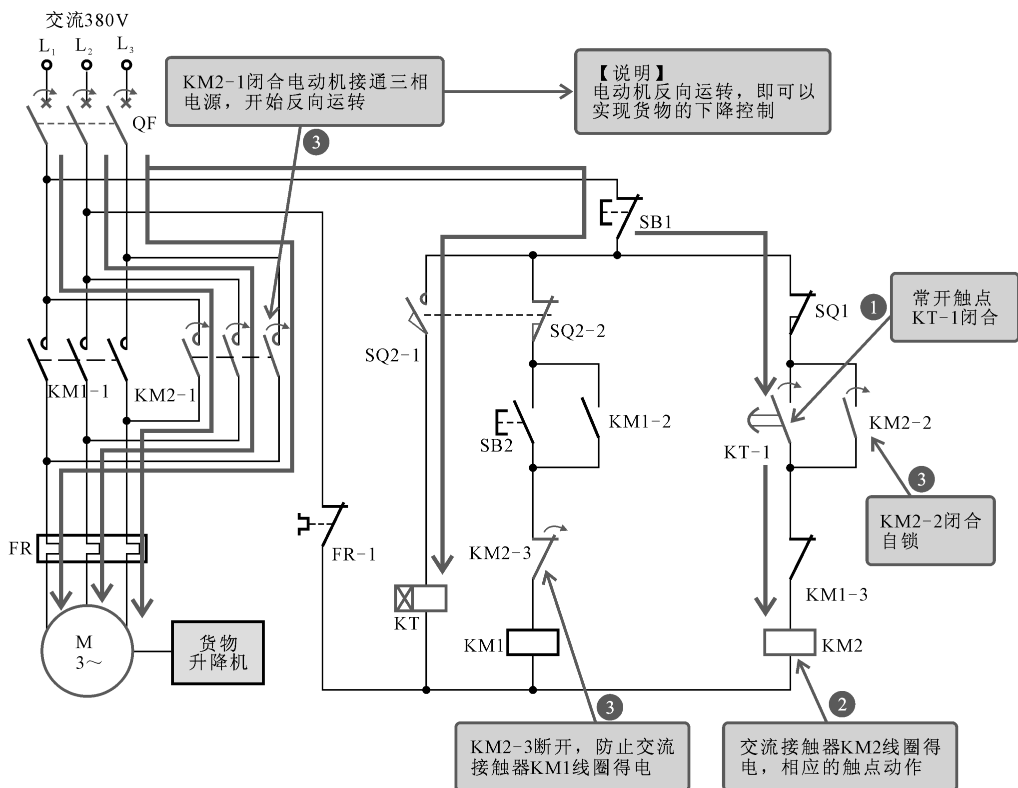


图 10-13　货物升降机的下降过程

由图 10-13 可知，交流接触器 KM2 线圈得电，常开辅助触点 KM2-2 闭合自锁，维持交流接触器 KM2 的线圈一直处于得电的状态；

常开主触点 KM2-1 闭合，电动机反向接通三相电源，开始反向旋转，货物升降机下降；

常闭辅助触点 KM2-3 断开，防止交流接触器 KM1 线圈得电。

4. 货物升降机下降至 SQ1 时的停机过程

如图 10-14 所示，货物升降机下降到规定的高度后，下位限位开关 SQ1 动作，常闭触点断开，此时交流接触器 KM2 线圈失电，触点全部复位：

常开主触点 KM2-1 复位断开，切断电动机供电电源，停止运转；

常开辅助触点 KM2-2 复位断开，解除自锁功能；

常闭辅助触点 KM2-3 复位闭合，为下一次的上升控制做好准备。

5. 工作时的停机过程

当需停机时，按下停止按钮 SB1，交流接触器 KM1 或 KM2 线圈失电。

交流接触器 KM1 和 KM2 线圈失电后，相关的触点均进行复位。



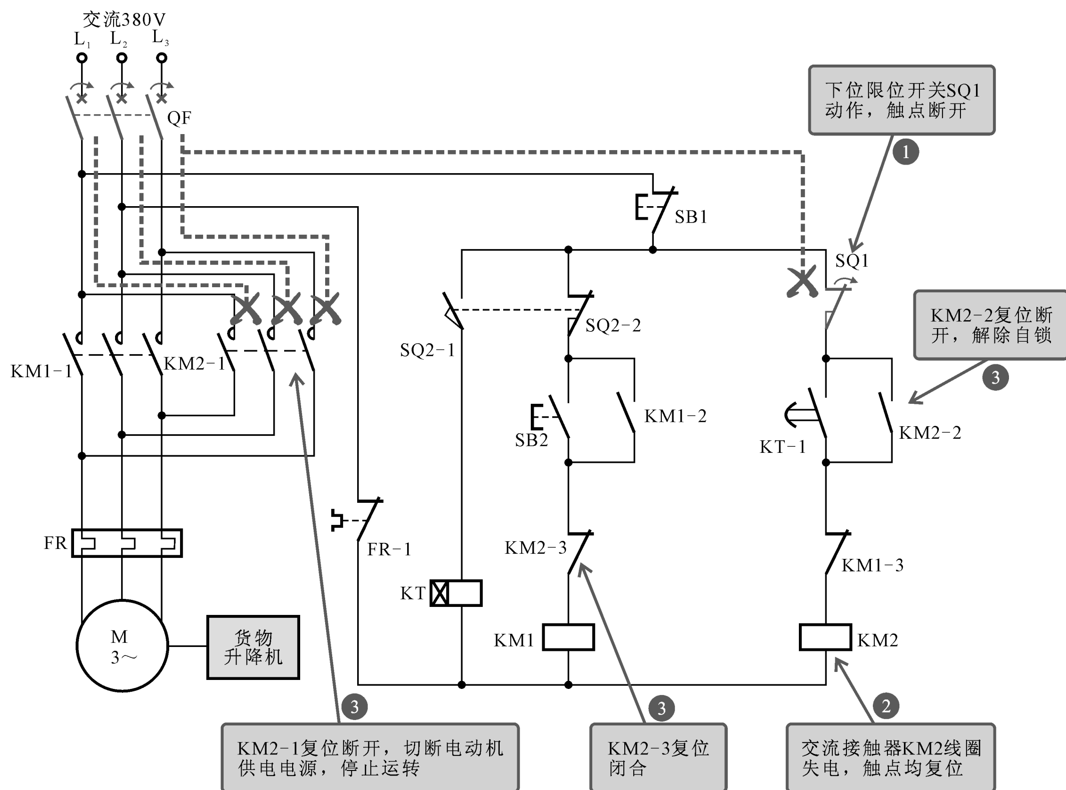


图 10-14　货物升降机下降至 SQ1 时的停机过程

常开主触点 KM1-1 或 KM2-2 复位断开，切断电动机的供电电源，停止运转。

常开辅助触点 KM1-2 或 KM2-2 复位断开，解除自锁功能。

常闭辅助触点 KM1-3 或 KM2-3 复位闭合，为下一次动作做准备。

10.2.3　B690 型液压牛头刨床控制电路中电气设备的控制是如何实现的



B690 型液压牛头刨床是一种用于平面和凹槽加工的电气设备，最大行程为 900mm，设有两个电动机，即主电动机和进给电动机，其中主运动为 3～37m/min，进给运动为 0.5～5mm/行程，主运动和进给运动都是通过液压驱动进行无极变速的。图 10-15 所示为 B690 型液压牛头刨床的控制电路。

由图 10-15 可知，B690 型液压牛头刨床控制电路主要由供电电路、保护电路、控制电路、照明灯电路、三相交流电动机等构成。

1. 主电动机 M1 的起动过程

运行主电动机 M1 时，需要先合上电源总开关 QS，接通三相电源，如图 10-16 所示，然后按下主电动机 M1 起动按钮 SB2，此时交流接触器 KM1 线圈得电，相应的触点动作：

常开辅助触点 KM1-2 闭合自锁，维持线路 KM1 一直处于得电状态；

常开主触点 KM1-1 闭合，电动机 M1 接通三相电源，开始起动运转。

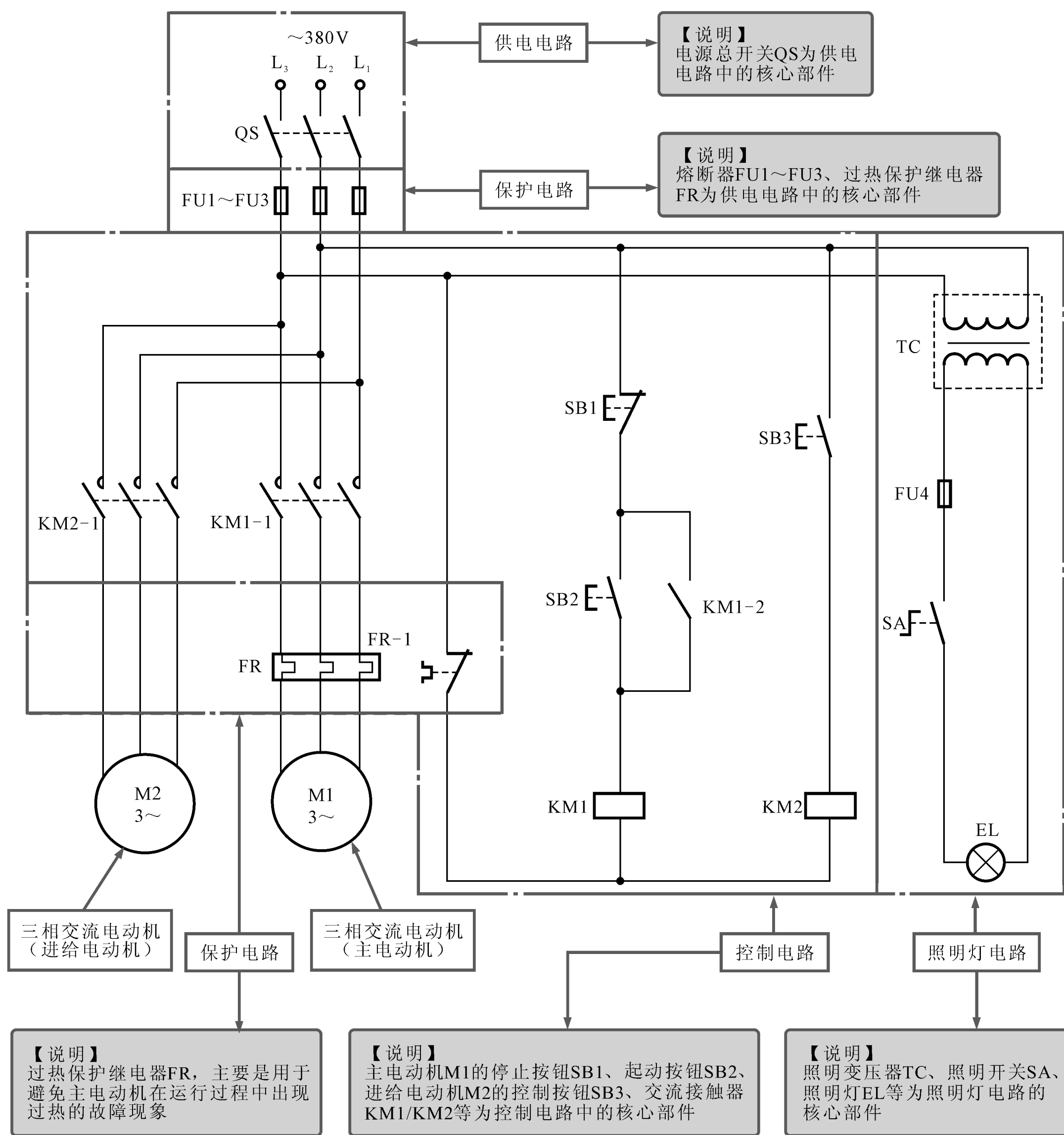


图 10-15　B690 型液压牛头刨床的控制电路



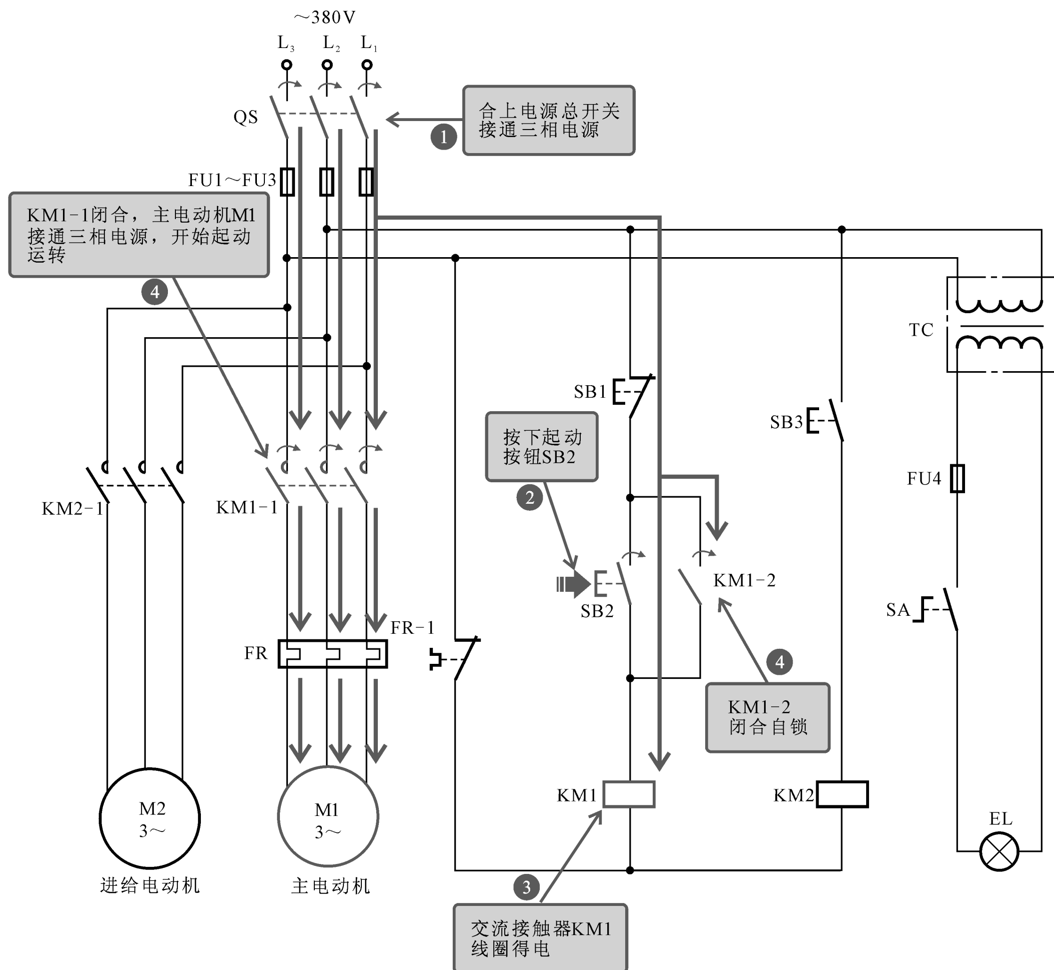


图 10-16　主电动机 M1 的起动过程

2. 主电动机 M1 的停机过程

若需要主电动机 M1 停机时，需要按下停止按钮 SB1，SB1 的触点断开后，切断交流接触器 KM1 线圈的供电，交流接触器 KM1 的各触点均复位：

常开辅助触点 KM1-2 复位断开，解除自锁功能；

常开主触点 KM1-1 复位断开，切断电动机 M1 供电电源，停止运转。

3. 进给电动机 M2 的控制过程

相对于主电动机 M1 的控制过程，进给电动机要较为简单，该电动机主要是由控制按钮 SB3 进行控制的。

若需要起动进给电动机 M2 时，可按下进给电动机 M2 的控制按钮 SB3，接通三相供电电源，如图 10-17 所示，交流接触器 KM2 线圈得电，触点动作：

常开主触点 KM2-1 闭合，电动机 M2 接通供电电源，开始起动运转。

若需要停止进给电动机 M2 的运行时，可松开控制按钮 SB3，从而切断交流接触器 KM2 的

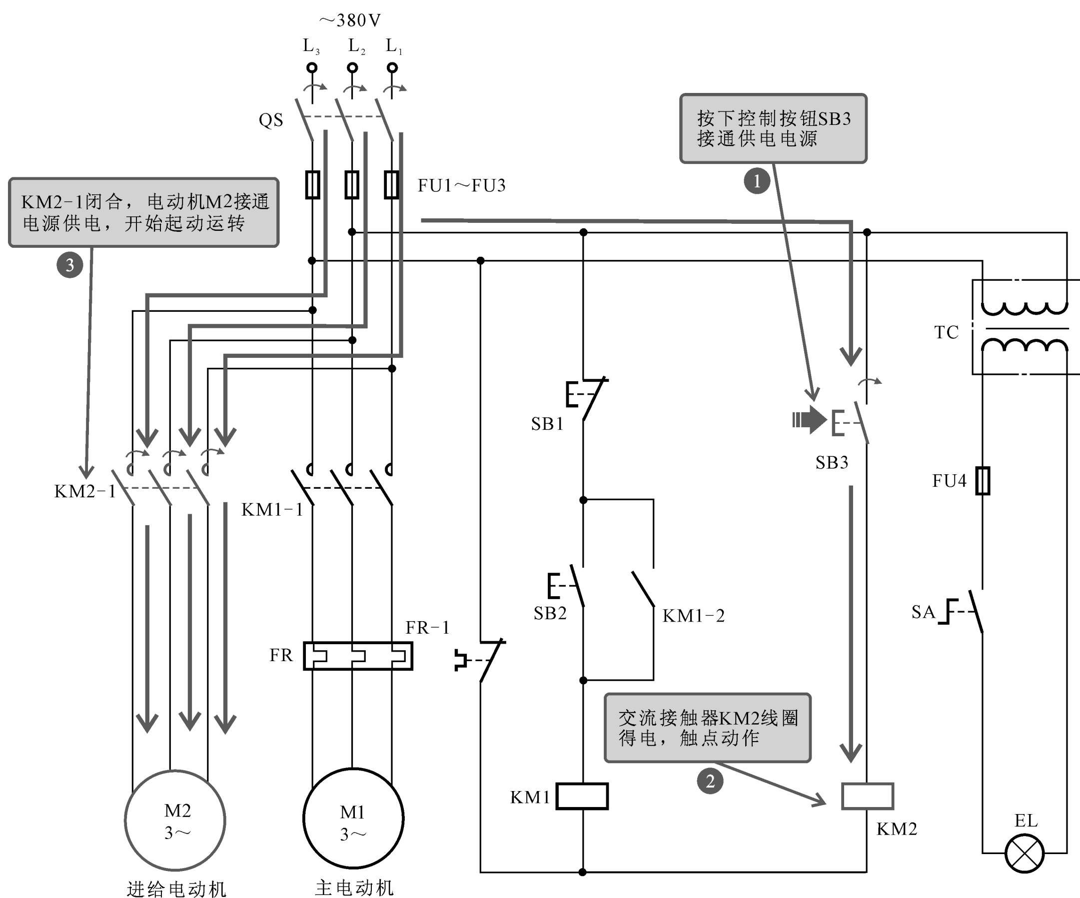


图 10-17　进给电动机 M2 的起动过程

供电。

交流接触器 KM2 线圈失电后，常开主触点 KM2-1 复位断开，切断电动机 M2 供电电源，停止运转。

4. 照明灯的控制过程

在该电气设备的控制过程当中，照明灯电路的控制主要是靠照明开关 SA 来实现的，如图 10-18 所示，在需要照明灯时，可将照明开关 SA 旋至接通的状态，此时照明变压器二次通路，照明灯 EL 亮。

若不需要照明灯时，可将照明开关 SA 旋至断开状态即可。



【资料】

照明灯电路中，供电电压经照明变压器变压后再为照明灯 EL 进行供电；熔断器 FU4 主要是用于对该电路进行保护。



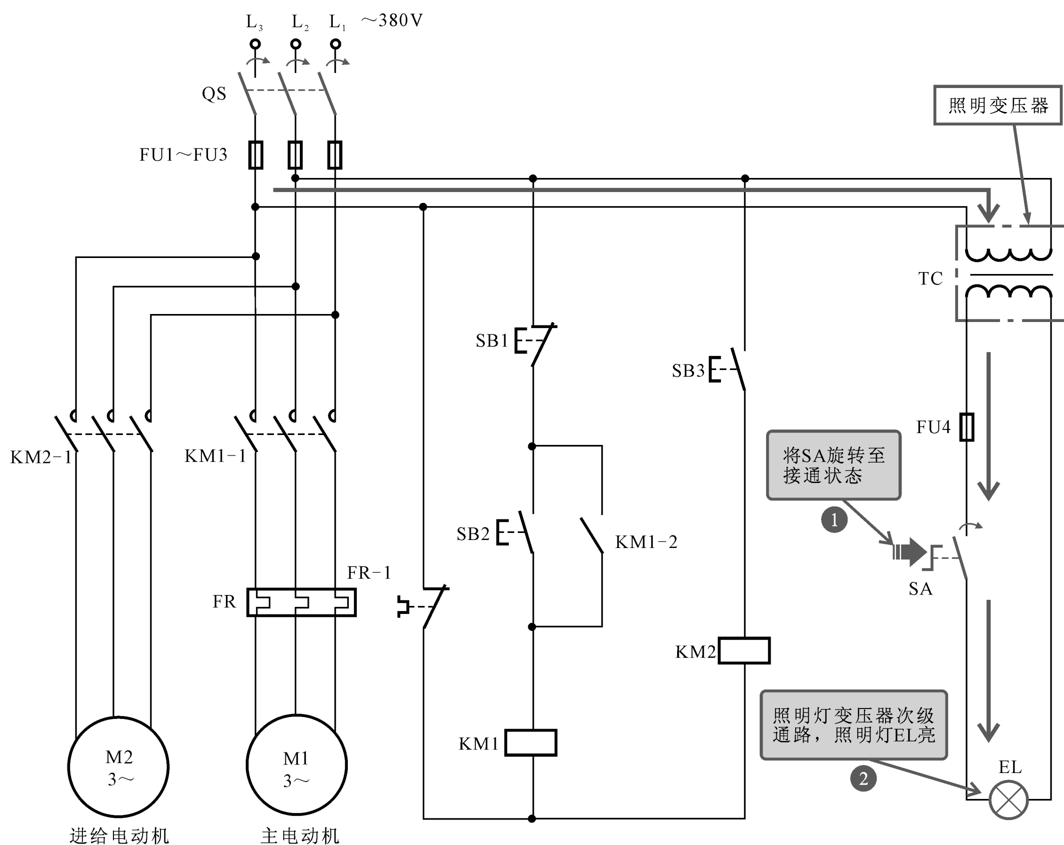


图10-18　照明灯的控制过程

10.2.4　Y7131型齿轮磨床控制电路中电气设备是如何实现的



Y7131型齿轮磨床控制电路中采用多个三相交流电动机，用来实现不同的功能，其中电动机又是由起动、停止按钮、交流接触器以及多速开关、旋转开关等进行控制的。图10-19所示为典型Y7131型齿轮磨床控制电路。

由图10-19可知，电路主要是由供电电路、保护电路、控制电路、照明电路和多个三相交流电动机等构成的。



【资料】

多速开关SSK共有四个装置，分别为“停机”位、“低速”位、“中速”位和“高速”位，通过将SSK开关扳到不同的位置，便可以控制三速电动机不同的转速

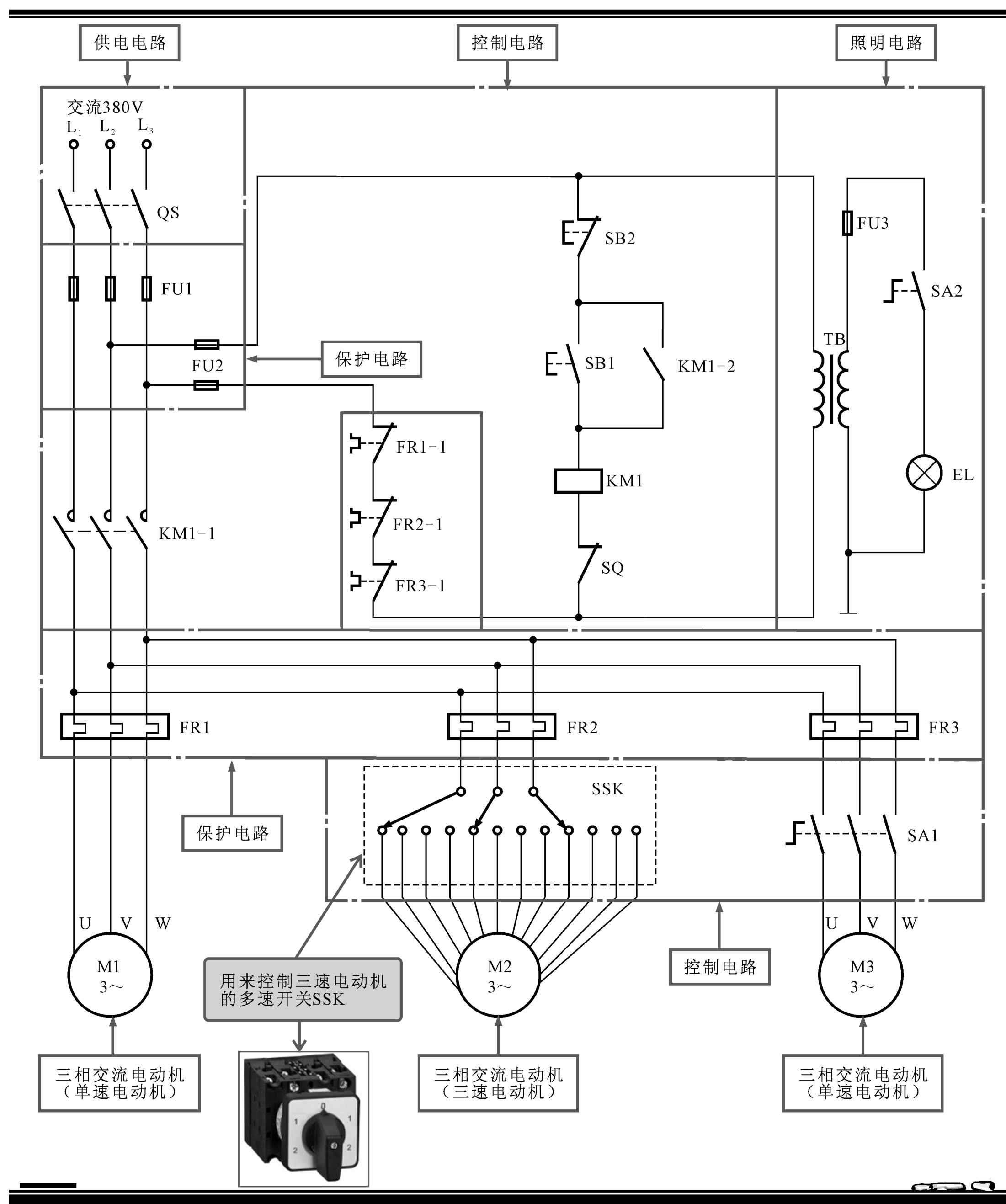


图 10-19　典型 Y7131 型齿轮磨床控制电路

提问

之前用到的都是单速电动机，什么是三速电动机呀？





回答

三速电动机即是有三种转速，其内部有 9 个绕组，通过对定子绕组进行三种不同的连接，即Y、△和YY，如图 10-20 所示，从而使电动机有三种不同的转速。

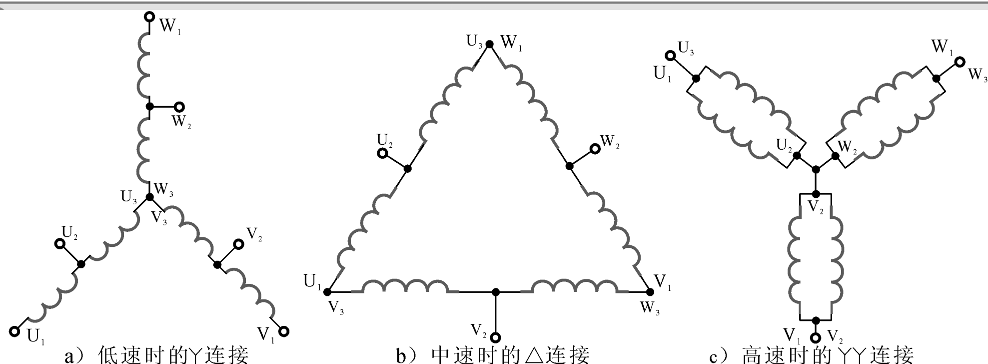


图 10-20　三速电动机定子绕组的连接方法示意图

1. 电动机 M1 的起动运转过程

若需要起动电动机 M1 时，应先合上电源总开关 QS，接通三相电源，如图 10-21 所示，然后

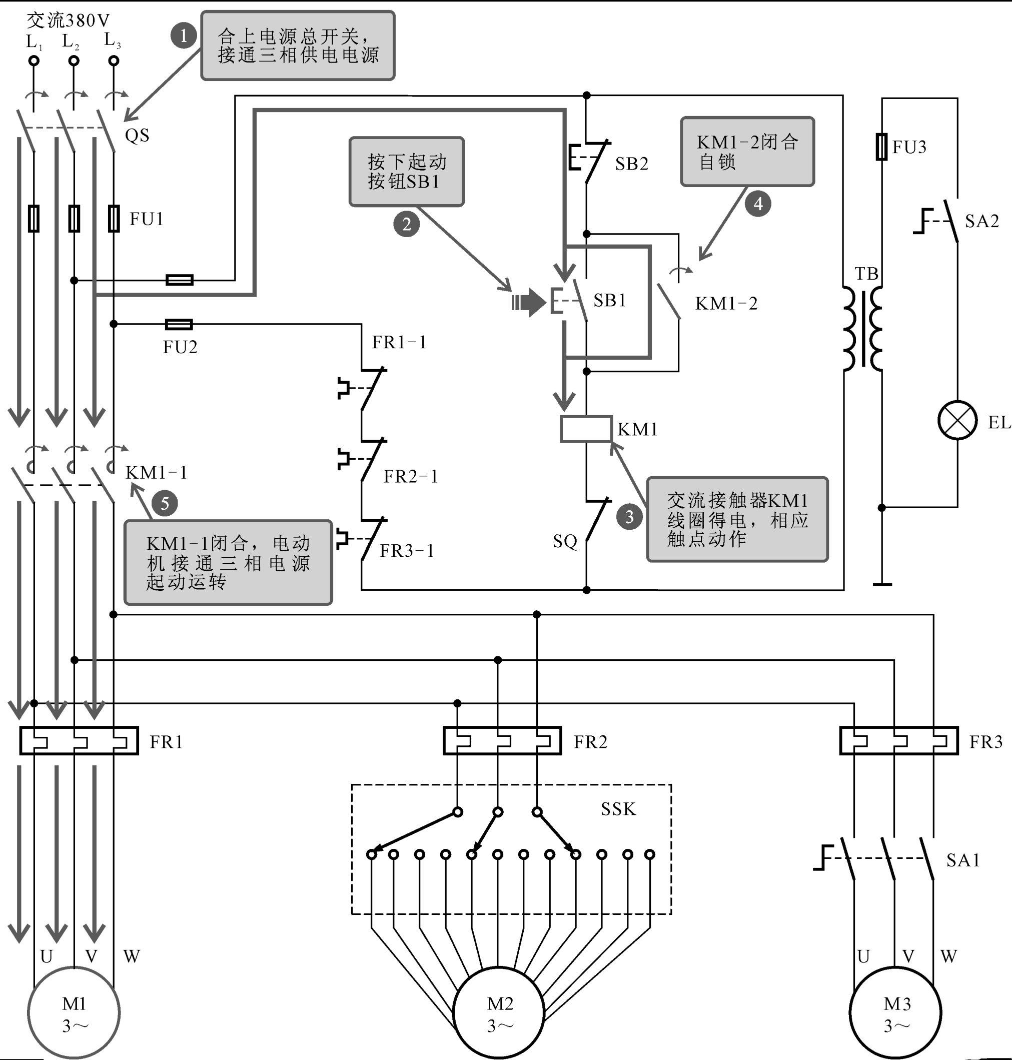


图 10-21　电动机 M1 的运转过程

按下起动按钮 SB1，使交流接触器 KM1 的线圈得电。

交流接触器 KM1 线圈得电后，常开辅助触点 KM1-2 闭合自锁，维持线圈得电。

常开主触点 KM1-1 闭合，电动机接通三相电源，开始起动运转。

2. 电动机 M2 的控制过程

起动电动机 M2 时，需要将多速开关 SSK 调至低速、中速或高速的任意一个位置，如图 10-22 所示，电动机 M2 接通三相电源，开始起动运转。

如需停机时，将多速开关 SSK 调至停机位，切断电动机 M2 供电电源，停止运转。

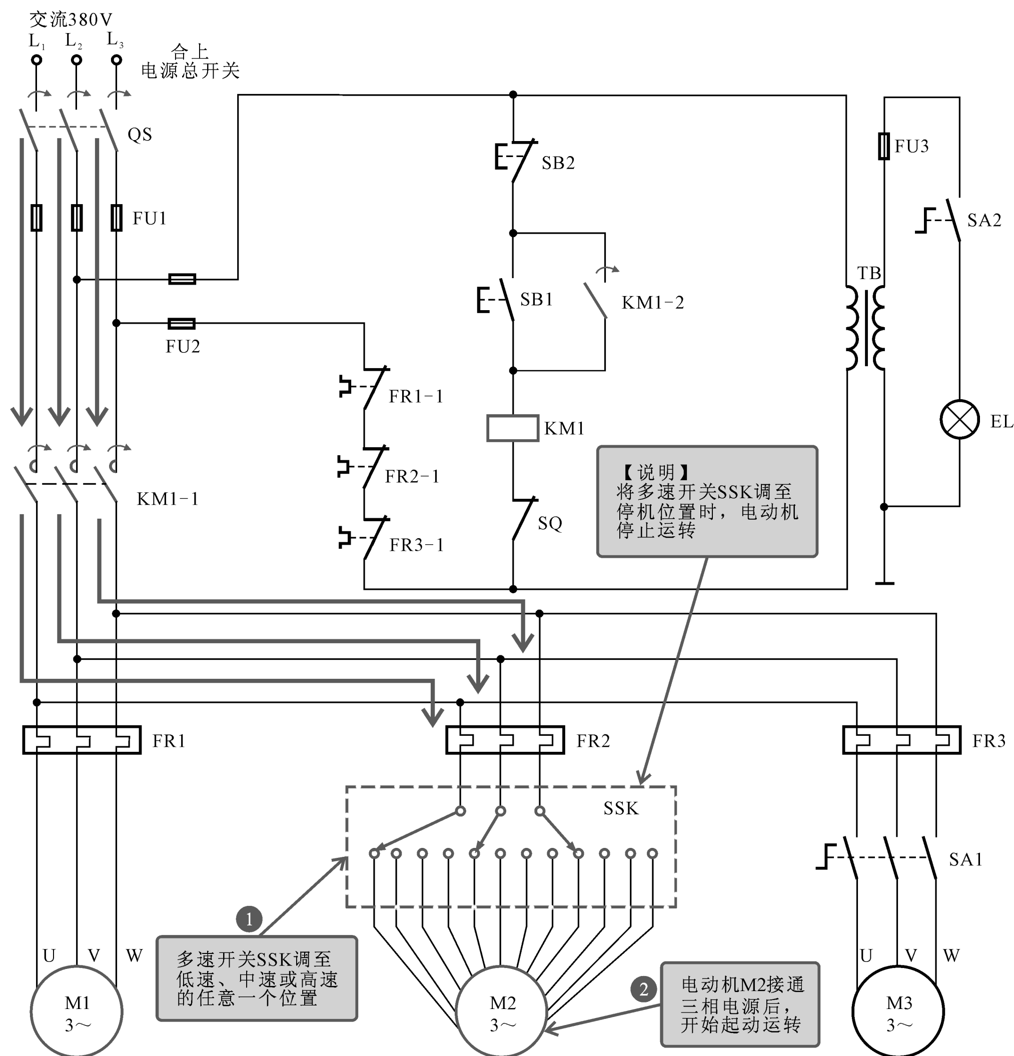


图 10-22　电动机 M2 的控制过程

3. 电动机 M3 的控制过程

控制电动机 M3 时，将转换开关 SA1 旋至接通状态，如图 10-23 所示，电动机 M3 接通三相



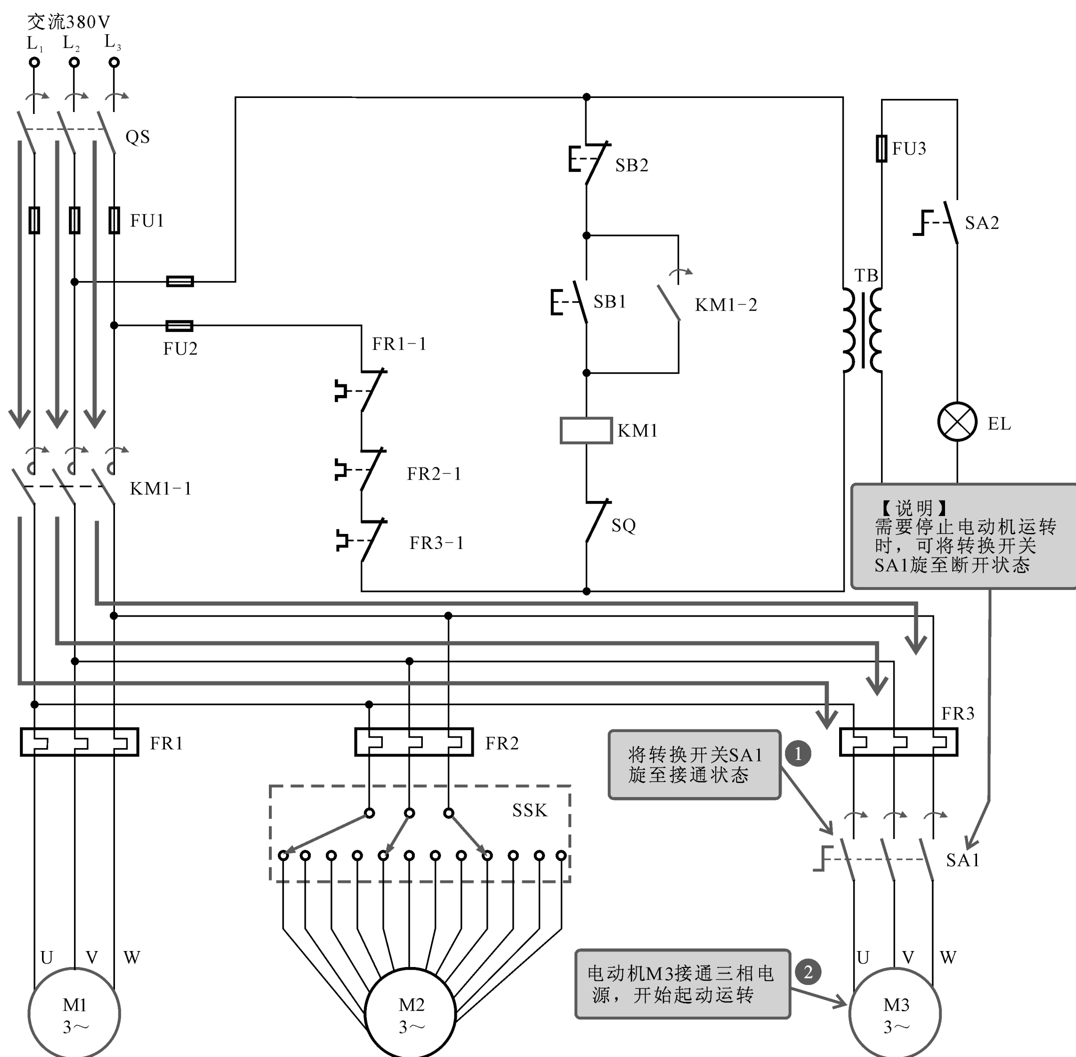


图 10-23　电动机 M3 的控制过程

电源，开始起动运转。

如需停机时，将转换开关 SA1 调至断开状态，便可切断电动机 M3 供电电源，停止运转。

4. 电动机的手动停机过程

若需对电动机进行停机操作时，按下停止按钮 SB2，交流接触器 KM1 线圈失电，常开辅助触点 KM1-2 复位断开，解除自锁功能。

常开主触点 KM1-1 复位断开，切断电动机的供电电源，停止运转。

5. 电动机的自动停机过程

当电动机 M1 控制的设备运行时，碰触到限位开关 SQ 时，其常闭触点断开，如图 10-24 所

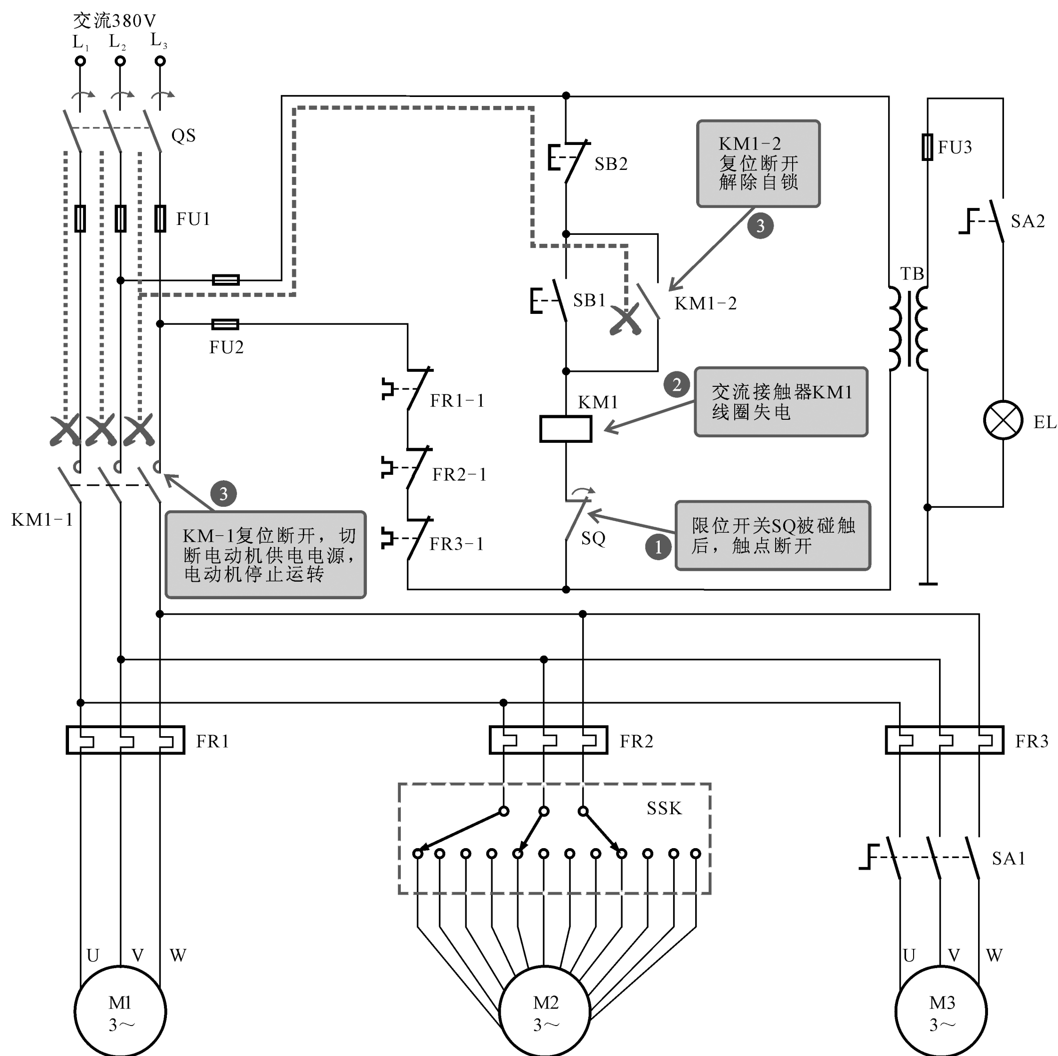


图 10-24　电动机的自动停机过程

示，交流接触器 KM1 线圈失电，常开辅助触点 KM1-2 复位断开，解除自锁功能。

常开主触点 KM1-1 复位断开，切断电动机的供电电源，停止运转。

6. 照明灯的工作过程

在电气设备控制的过程中，若需要照明时，可将旋转开关 SA2 旋转至接通状态，如图 10-25 所示，变压器 TB 二次侧为照明灯提供工作电压，开始点亮。

不需要照明灯时，可将旋转开关 SA2 调至断开状态。



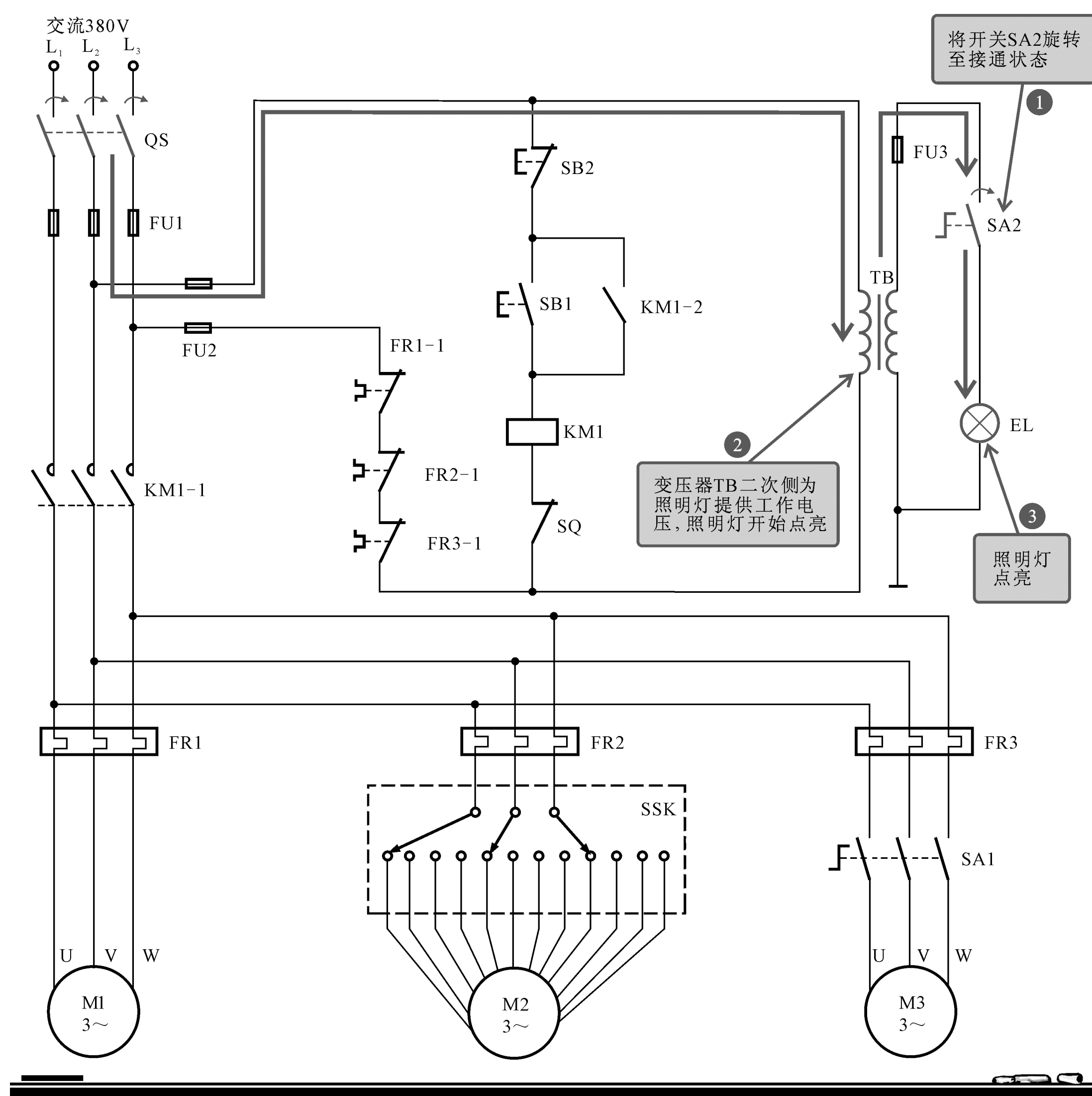


图 10-25　照明灯的工作过程

第11章 通过案例搞清楚农业电气设备的电气控制



现在，开始进入第 11 章的学习，本章我们要了解常用农业电气设备的电气控制过程。在电气控制技术应用领域，农业电气设备占有很大的比重。目前很多农业电气设备都采用现代化的电气控制技术，不同种类的电气部件组合，不同方式的电气设备连接关系，导致农业电气设备的功能多种多样。

为了能够在短时间内搞清农业电气设备的电气控制，我们依托大量实际应用案例，从农业电气设备的电路构成入手，找到农业电气设备控制电路中的主要组成部件，建立其相互连接关系，进而对农业电气设备控制电路的工作方式进行分析，从一个个控制过程中，梳理出农业电气设备控制电路的控制过程。

相信通过对下面精心筛选的经典应用案例的分析，大家很快就能搞清农业电气设备的电气控制特色。

11.1 了解一下农业电气设备的电气控制过程





本节主要是对农业电气设备的控制过程进行了解，首先需要看一下农业电气设备的控制电路中有哪些部件，然后再将这些部件进行连接，分析一下这个电路是怎样实现的控制过程，通过这些知识的学习，初步对农业电气设备的控制过程有所了解。

11.1.1 看看农业电气设备的电气控制电路中有哪些器件



农业电气设备是指在农业生产中所需要的电气设备，例如排灌设备、农产品加工设备、养殖和畜牧设备等。农业电气设备由很多控制器件、功能部件、连接部件组成，根据选用部件种类和数量的不同以及对不同器件间的不同组合连接方式，便可以实现不同的功能。图 11-1 所示为典型农业抽水设备的控制电路。

由图 11-1 可知，典型农业电气设备的电气控制电路主要是由电源开关（QS1、QS2）、熔断器（FU1 ~ FU5）、起动按钮（SB1）、停止按钮（SB2）、交流接触器（KM）、过热保护继电器（FR）、照明灯（EL1、EL2）、水泵电动机（三相交流电动机 M）等部件构成的，根据该电气控制电路图通过连接导线将相关的部件进行连接后，即构成了农业电气设备的电气控制电路，如图 11-2 所示。

11.1.2 怎样做到对农业电气设备的电气控制



农业电气设备是依靠起动按钮、停止按钮、交流接触器、电动机等对相应的设备进行控制，从而实现相应功能的。下面就以典型农业电气设备的电气控制电路为例详细讲解一下农业电气设备的电气控制是怎样做到的，如图 11-3 所示。



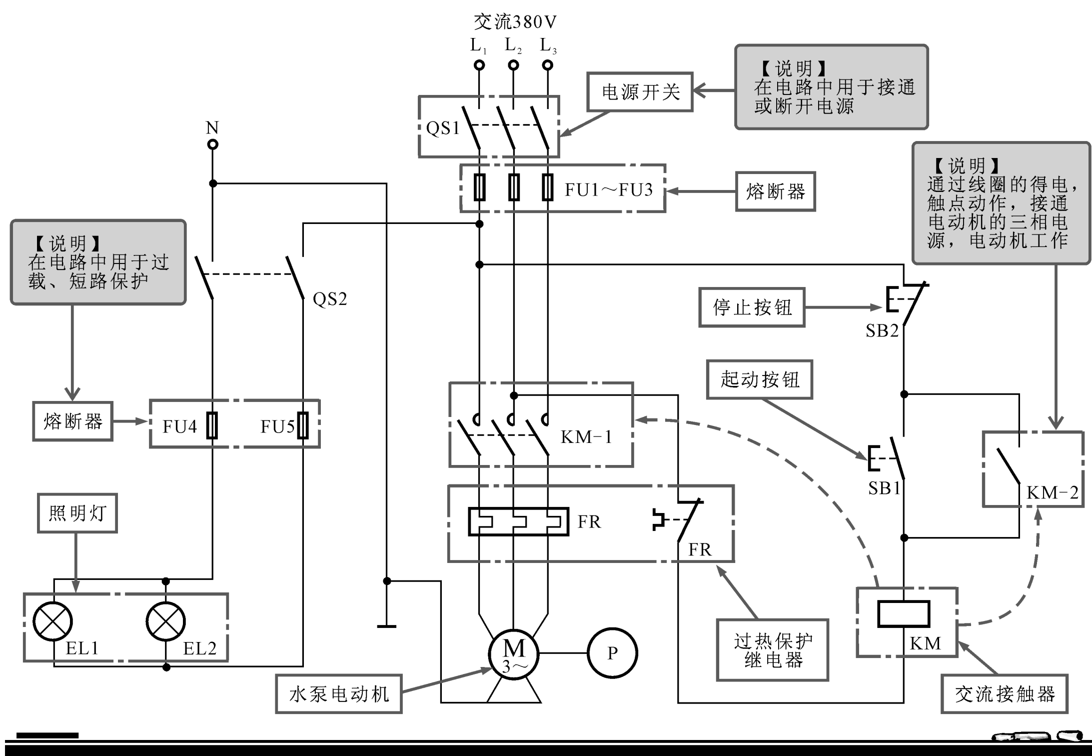


图 11-1　典型农业抽水设备的电气控制电路

由图 11-3 可知，典型农业电气设备主要是由供电电路、保护电路、控制电路、照明灯电路及水泵电动机等部分构成的。

通过图 11-3 可知，农业电气设备的电气控制图中各电路之间相互协调，通过控制部件最终合理地实现对各电气设备进行控制，下面我们就分别学习一下控制部件是怎样做到对各电气设备控制的。

1. 水泵电动机的起动过程

当需要起动水泵电动机时，应先合上电源总开关 QS，接通三相电源，如图 11-4 所示，然后按下起动按钮 SB1，使触点闭合，此时交流接触器 KM 线圈得电。

由图 11-4 可知，交流接触器 KM 线圈得电，常开辅助触点 KM-2 闭合自锁。

常开主触点 KM-1 闭合，电动机接通三相电源，起动运转，水泵电动机带动水泵电动机开始工作，完成水泵电动机的起动过程。

2. 水泵电动机的停机过程

需要停机时，可按下停止按钮 SB2，使停止按钮内部的触点断开，切断供电电路的电源，此时交流接触器 KM 线圈失电，常开辅助触点 KM-2 复位断开，解除自锁。常开主触点 KM-1 复位闭合，切断电动机供电电源，停止运转。

3. 照明灯的控制过程

在对该电路中的电气设备进行控制的同时，若是需要照明时，可以合上电源开关 QS2 照明灯 EL1 、EL2 接通电源，开始点亮；若不需要照明时，可关闭电源总开关 QS2，使照明灯熄灭。

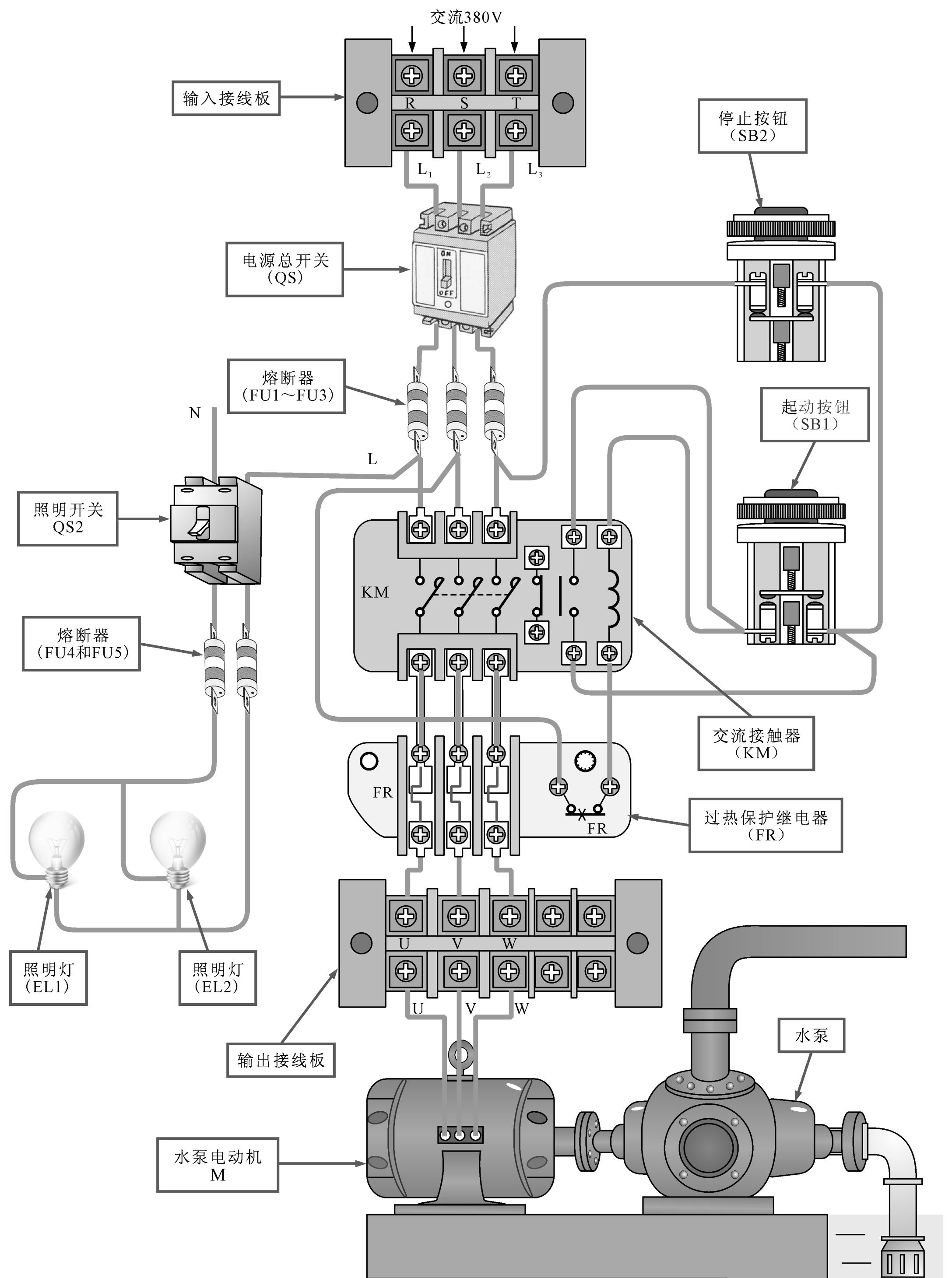


图 11-2　典型农业抽水设备控制电路的主要部件及实物连接图

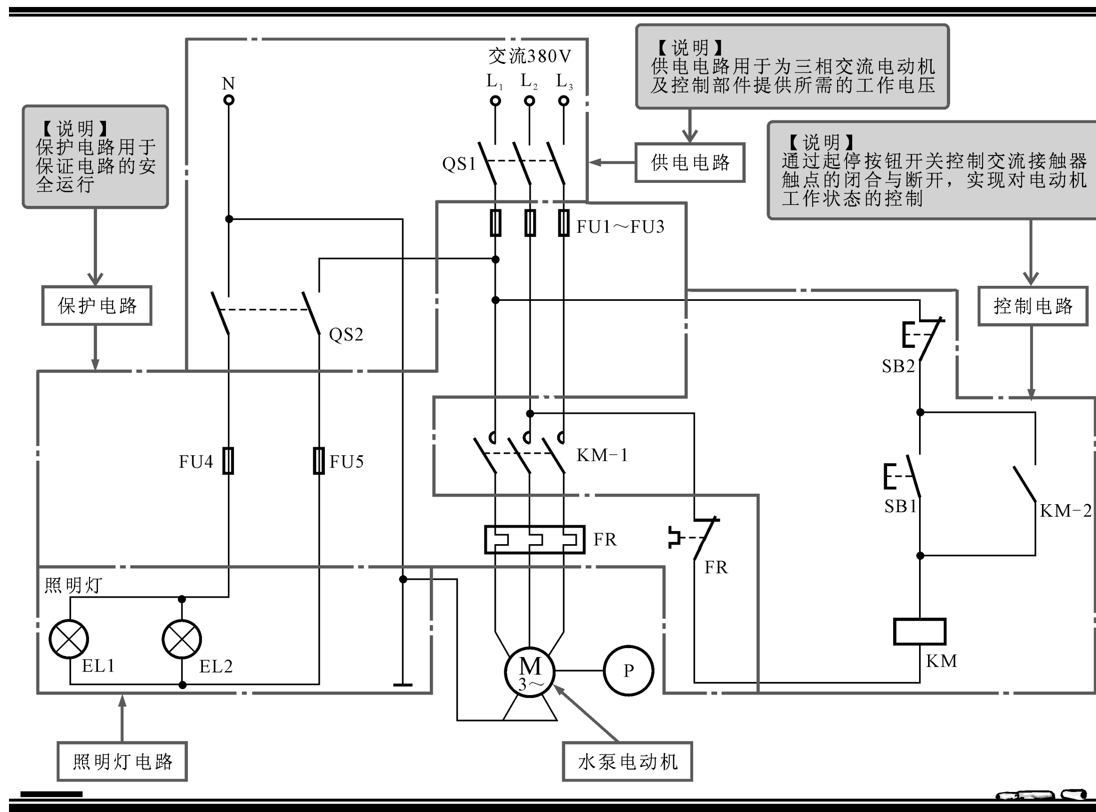


图 11-3　典型农业设备的电气控制图

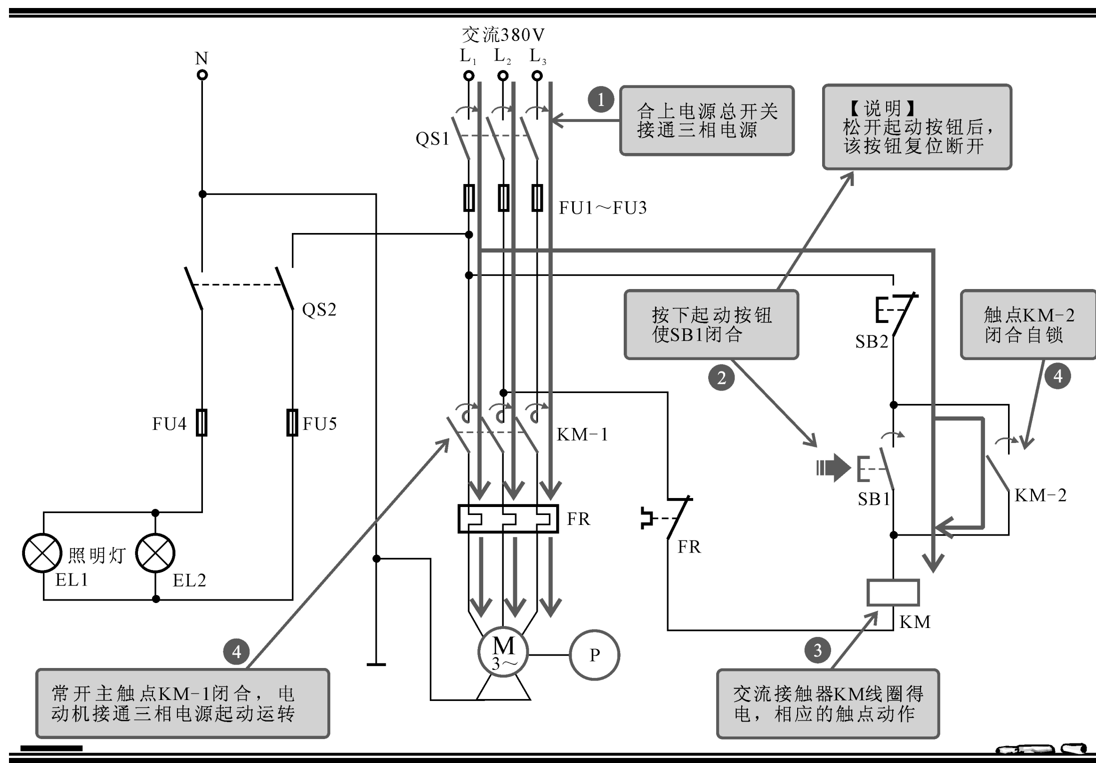


图 11-4　水泵电动机的起动过程

11.2 这些农业电气设备的电气控制效果是如何实现的





通过前面的学习，我们知道了农业电气设备的主要构成部件和基本的控制方法。但由于不同农业电气设备实现功能的不同、选用的部件不同、部件间的组合方式以及数量的选用不同，加之电路上的连接差异，从而产生了多种控制效果。因此，为了进一步巩固所学知识，下面通过更多案例来搞清楚农业电气设备的电气控制效果是通过什么样的方式来实现的。

11.2.1 禽蛋孵化恒温箱控制电路中电气设备的电气控制是如何实现的



禽蛋孵化恒温箱控制电路控制恒温箱内的温度保持恒定温度值，当恒温箱内的温度降低时，自动起动加热器进行加热工作。当恒温箱内的温度达到预定的温度时，自动停止加热器工作，从而保证恒温箱内温度的恒定。图11-5所示为典型禽蛋孵化恒温箱控制电路。

由图11-5可知，禽蛋孵化恒温箱控制电路主要由供电电路、温度控制电路和加热器控制电路等构成。

该电路中电源变压器T、桥式整流堆VD1～VD4、滤波电容器C、稳压二极管VZ、温度传感器集成电路IC1、电位器RP、三极管VT、继电器K、加热器EE等为禽蛋孵化恒温箱温度控制的核心部件。

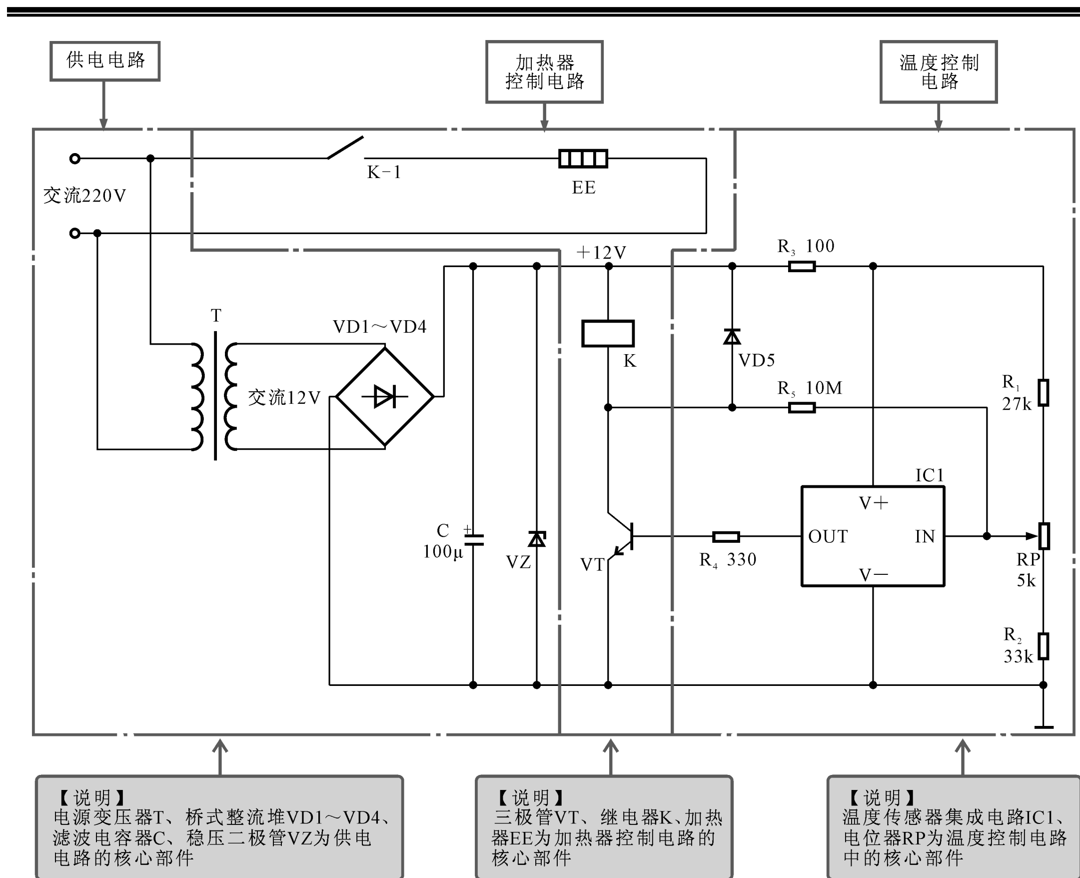


图11-5 典型禽蛋孵化恒温箱控制电路




【资料】

IC1 是一种温度检测传感器与接口电路集于一体的集成电路，IN（输入）端为启控温度设定端。当 IC1 检测的环境温度达到设定启控温度时 OUT（输出）端输出高电平，起到控制的作用。

下面，主要通过对禽蛋孵化恒温箱的加热、禽蛋孵化恒温箱停止加热的控制过程进行学习，了解这些电气设备的控制是怎样实现的。

1. 禽蛋孵化恒温箱的加热过程

在对禽蛋孵化恒温箱进行加热控制时，应先通过电位器 RP 预先调节好禽蛋孵化恒温箱内的温控值。

然后接通电源，如图 11-6 所示，交流 220V 电压经电源变压器 T 降压后，由二次侧输出交流 12V 电压，交流 12V 电压经桥式整流堆 VD1 ~ VD4 整流、滤波电容器 C 滤波、稳压二极管 VZ 稳压后，输出 +12V 直流电压，为温度控制电路供电。

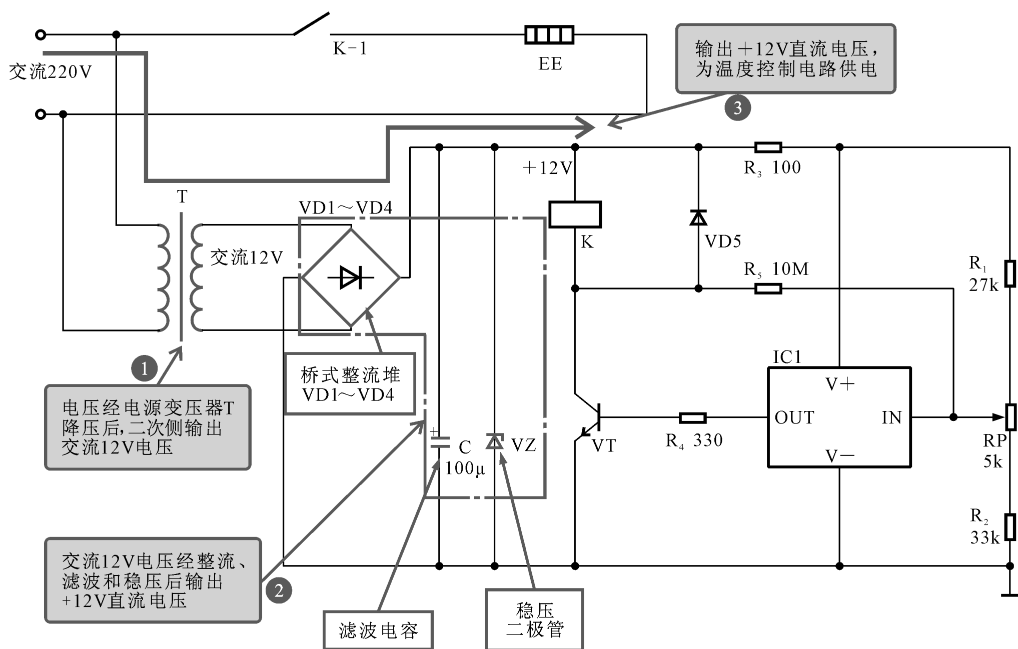


图 11-6　禽蛋孵化恒温箱的供电过程

如图 11-7 所示，当禽蛋孵化恒温箱内的温度低于电位器 RP 预先设定的温控值时，温度传感器集成电路 IC1 的 OUT 端输出高电平，三极管 VT 导通。

此时，继电器 K 线圈得电，常开触点 K-1 闭合，接通加热器 EE 的供电电源，加热器 EE 开始加热工作。

2. 禽蛋孵化恒温箱的停止加热过程

当禽蛋孵化恒温箱内的温度上升至电位器 RP 预先设定的温控值时，温度传感器集成电路 IC 的 OUT 端输出低电平，如图 11-8 所示，此时三极管 VT 截止，继电器 K 线圈失电。

常开触点 K-1 复位断开，切断加热器 EE 的供电电源，加热器 EE 停止加热工作。

交流220V
K-1
EE
继电器K线圈得电相应触点动作
③
T
交流12V
VD1～VD4
+12V
K
VD5
R_3 100
R_5 10M
R_1 27K
IC1
V+
OUT
IN
V−
C 100μ
VZ
VT
R_4 330
RP 5K
IC1输出低电平
33K
④
常开触点K-1闭合，接通加热器EE的供电电源，加热器EE开始加热工作
②
三极管VT导通，该电路接通，继电器K线圈得电
①
当恒温箱内的温度低于电位器RP设定的温控值时，温度传感器集成电路IC1输出高电平


图 11-7 禽蛋孵化恒温箱的加热过程

交流220V
K-1
EE
继电器K线圈失电相应触点复位
③
T
交流12V
VD1～VD4
+12V
K
VD5
R_3 100
R_5 10M
R_1 27K
IC1
V+
OUT
IN
V−
C 100μ
VZ
VT
R_4 330
RP 5K
R_2 33K
④
常开触点K-1复位断开，切断加热器EE的供电电源，加热器EE停止加热
②
三极管VT截止，该电路断开，继电器K线圈失电
①
恒温箱内的温度达到电位器RP设定的温控值，温度传感器集成电路IC1输出低电平


图 11-8 禽蛋孵化恒温箱的停止加热过程





【注意】

加热器停止加热一段时间后，禽蛋孵化恒温箱内的温度缓慢下降，当禽蛋孵化恒温箱内的温度再次低于电位器 RP 预先设定的温控值时，温度传感器集成电路 IC1 的 OUT 端再次输出高电平。

三极管 VT 再次导通，继电器 K 线圈再次得电：

常开触点 K-1 闭合，再次接通加热器 EE 的供电电源，加热器 EE 开始加热工作；

如此反复循环，来保证禽蛋孵化恒温箱内的温度恒定。

11.2.2 稻谷加工机电气控制电路中电气设备的电气控制是如何实现的



稻谷加工机电气控制电路通过起动按钮、停止按钮、接触器等控制部件的控制下使各功能电动机起动运转，来带动稻谷加工机的机械部件运作，从而完成稻谷的加工作业。

图 11-9 所示为典型稻谷加工机电气控制电路。由图可知该电路主要是由供电电路、保护电路、控制电路和主电动机 M1、进料驱动电动机 M2、出料驱动电动机 M3 等构成，该电路中的电动机均采用三相交流电动机。

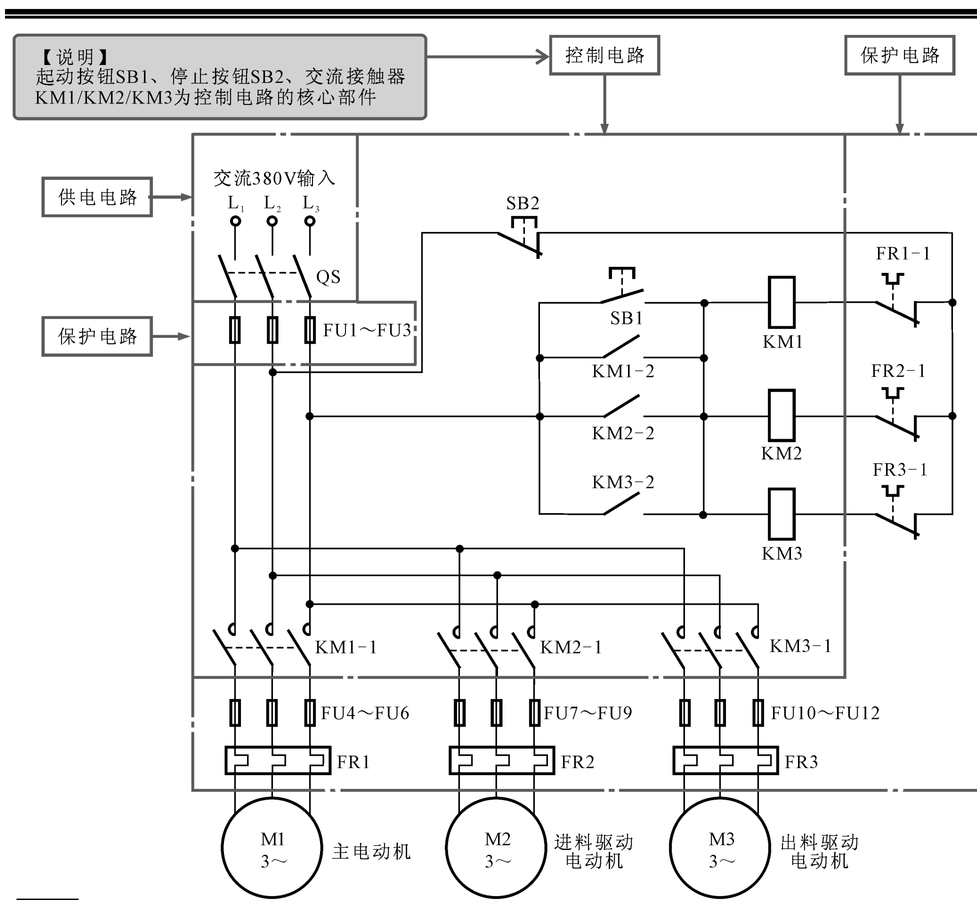


图 11-9　典型稻谷加工机电气控制电路

下面，主要通过对稻谷加工机的起动、稻谷加工机的停机控制过程进行学习，了解这些电气设备的控制是怎样实现的。

1. 稻谷加工机的起动过程

起动稻谷加工机时，应先合上电源总开关 QS，接通三相电源，如图 11-10 所示，然后按下起动按钮 SB1，使触点闭合，交流接触器 KM1、KM2、KM3 线圈同时得电，相应触点均动作。

交流接触器 KM1、KM2、KM3 线圈得电后，常开辅助触点 KM1-2、KM2-2、KM3-2 闭合，实现自锁功能。

常开主触点 KM1-1、KM2-1、KM3-1 闭合，接通主电动机 M1、进料驱动电动机 M2、出料驱动电动机 M3 的供电电源后，主电动机 M1、进料驱动电动机 M2、出料驱动电动机 M3 起动运转，完成电动机的起动控制过程。

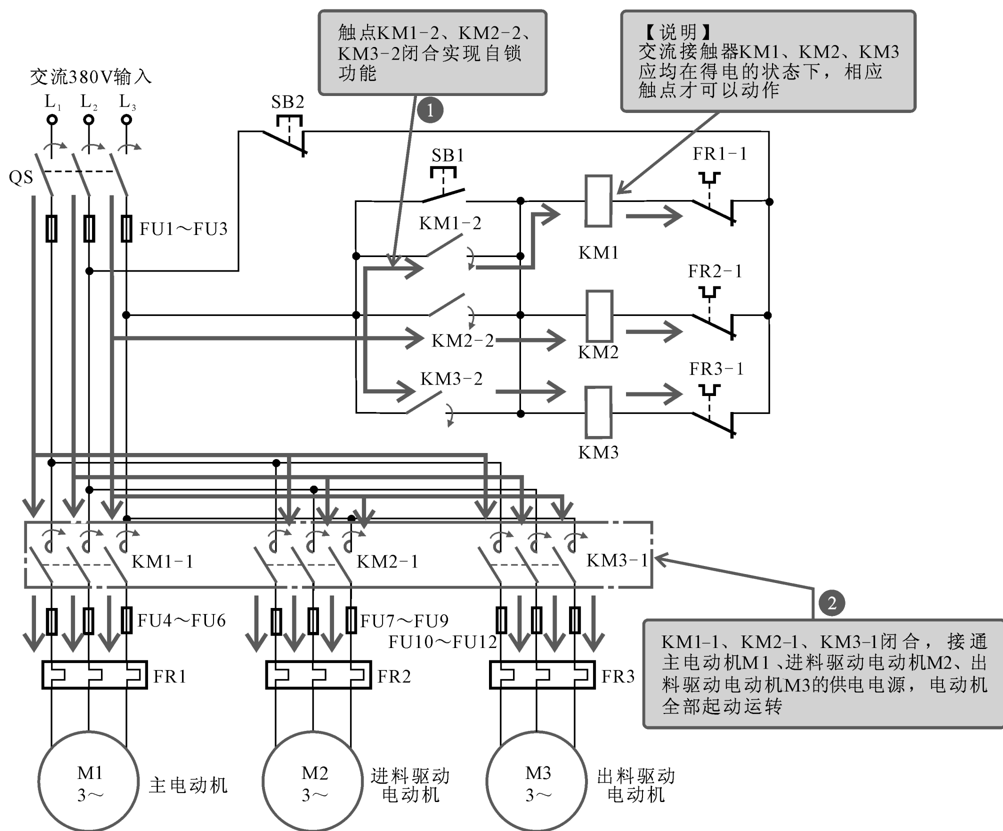


图 11-10　稻谷加工机的起动过程

2. 稻谷加工机的停机过程

若是需要对加工机进行停机控制时，需要按下停止按钮 SB2，此时交流接触器 KM1、KM2、KM3 线圈同时失电，其触点全部复位。

常开辅助触点 KM1-2、KM2-2、KM3-2 复位断开，解除自锁功能；常开主触点 KM1-1、KM2-1、KM3-1 复位断开，切断主电动机 M1、进料驱动电动机 M2、出料驱动电动机 M3 的供电电源；主电动机 M1、进料驱动电动机 M2、出料驱动电动机 M3 停止运转。



11.2.3 禽类养殖孵化室湿度控制电路中电气设备的电气控制是如何实现的



禽类养殖孵化室湿度控制电路控制孵化室内的湿度维持在一定范围内：当孵化室内的湿度低于设定的湿度时，应自动起动加湿器进行加湿工作；当孵化室内的湿度达到设定的湿度时，应自动停止加湿器工作。

图 11-11 所示为典型禽类养殖孵化室湿度控制电路。由图可知，该电路主要由供电电路、湿度检测电路、湿度控制电路等构成。

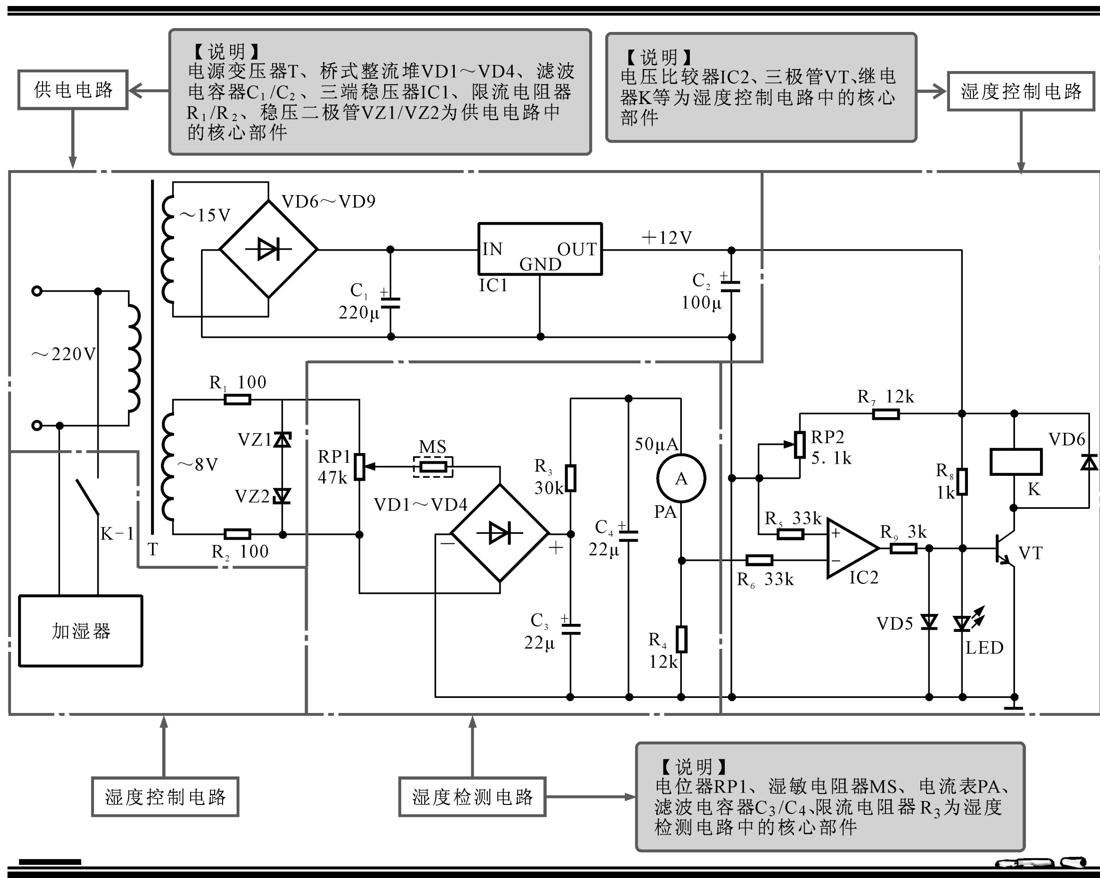


图 11-11 典型禽类养殖孵化室湿度控制电路

下面，主要通过对禽类养殖孵化室的加湿、禽类养殖孵化室的停止加湿以及再次加湿的控制过程进行学习，了解这些电气设备的控制是怎样实现的。

1. 禽类养殖孵化室的加湿过程

在增加孵化室的湿度前，应先接通电源，如图 11-12 所示，交流 220V 电压经电源变压器 T 降压后，由二次侧分别输出交流 15V、8V 电压。

其中，交流 15V 电压经桥式整流堆 VD6 ~ VD9 整流、滤波电容器 C_1 滤波、三端稳压器 IC1 稳压后，输出 +12V 直流电压，为湿度控制电路供电，指示灯 LED 点亮。

交流 8V 经限流电阻器 R_1、R_2 限流，稳压二极管 VZ1、VZ2 稳压后输出交流电压，经电位器 RP1 调整取样，湿敏电阻器 MS 降压，桥式整流堆 VD1 ~ VD4 整流，限流电阻器 R_3 限流，滤波电容器 C_3、C_4 滤波后，加到电流表 PA 上。

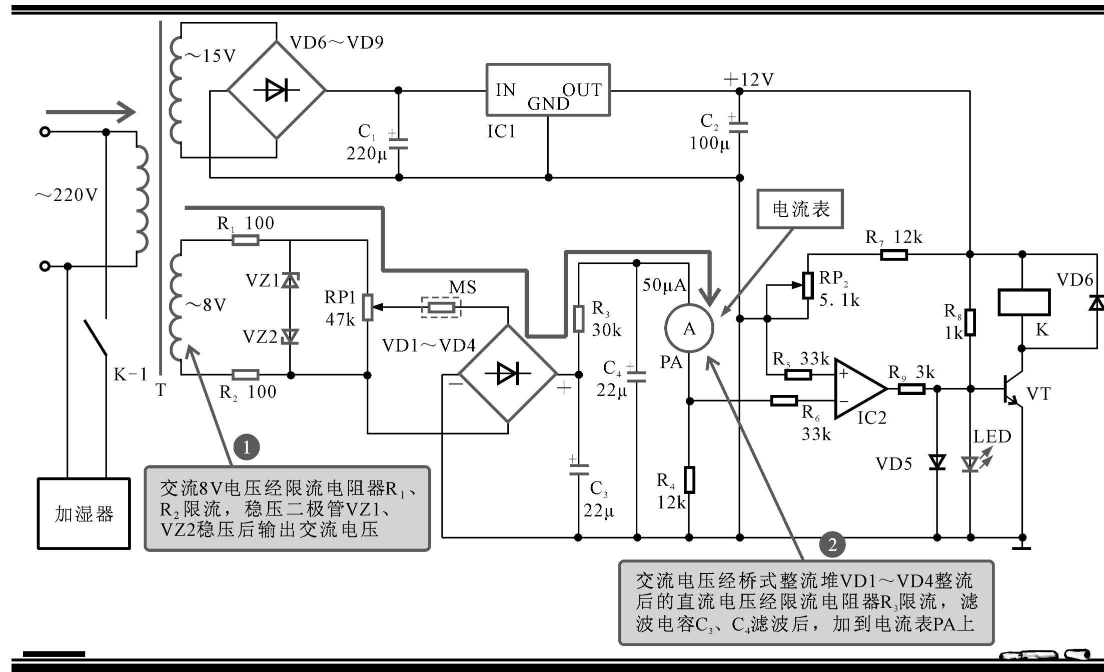


图 11-12　禽类养殖孵化室湿度检测电路的供电过程

各供电电压准备好后，如图 11-13 所示，当禽类养殖孵化室内的环境湿度较低时，湿敏电阻器 MS 的阻值变大，桥式整流堆输出电压减小（流过电流表 PA 上的电流就变小，进而流过电阻器 R_4 的电流也变小）。

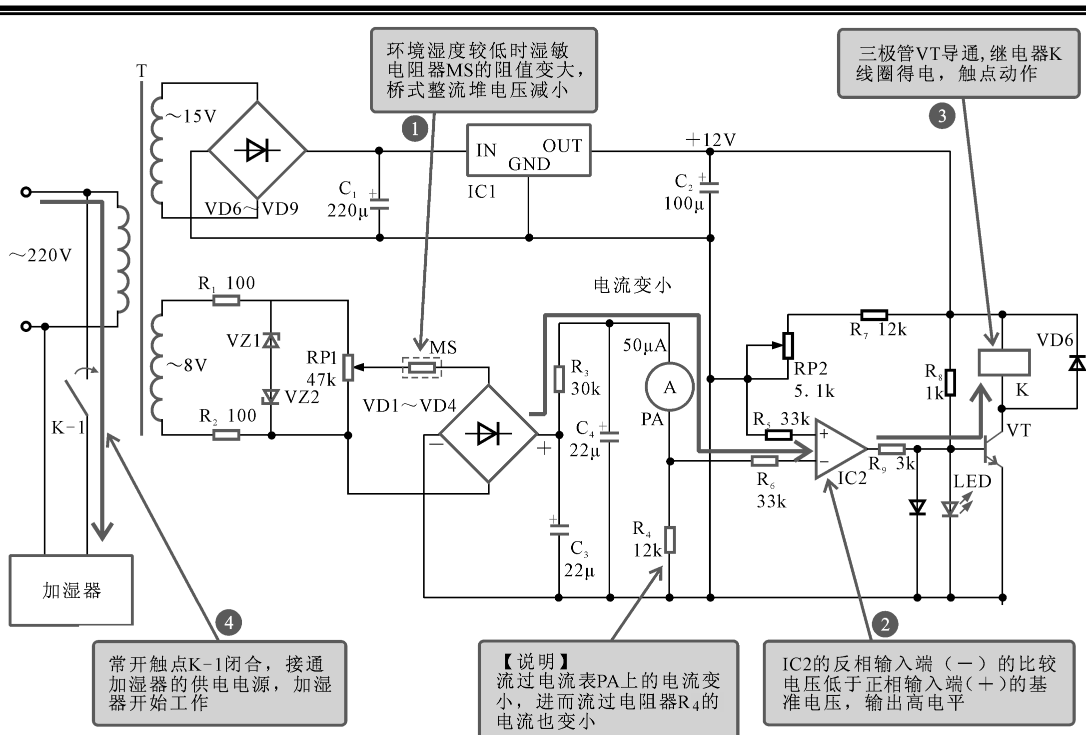


图 11-13　禽类养殖孵化室的加湿过程

此时电压比较器IC2的反相输入端（－）的比较电压低于正相输入端（＋）的基准电压，因此由其电压比较器IC2的输出端输出高电平，三极管VT导通，继电器K线圈得电，相应的触点动作：

常开触点K-1闭合，接通加湿器的供电电源，加湿器开始加湿工作。

2. 禽类养殖孵化室的停止加湿过程

当禽类养殖孵化室内的环境湿度逐渐增高时，湿敏电阻器MS的阻值逐渐变小，整流电路输出电压升高（流过电流表PA上的电流逐渐变大，进而流过电阻器R_4的电流也逐渐变大），此时电压比较器IC2的反相输入端（－）的比较电压也逐渐变大，如图11-14所示。

图11-14 禽类养殖孵化室的停止加湿过程

由图11-14可知，当禽类养殖孵化室内的环境湿度达到设定的湿度时，电压比较器IC2的反相输入端（－）的比较电压要高于正相输入端（＋）的基准电压，因此由其电压比较器IC2的输出端输出低电平，使三极管VT截止，从而继电器K线圈失电，相应的触点复位。

常开触点K-1复位断开，切断加湿器的供电电源，加湿器停止加湿工作。

3. 禽类养殖孵化室的再次加湿过程

孵化室的湿度随着加温器的停止逐渐降低时，温敏电阻器MS的阻值逐渐变大，流过电流表PA上的电流就逐渐变小，进而流过电阻器R_4的电流也逐渐变小，如图11-15所示，此时电压比较器IC2的反相输入端（－）的比较电压也逐渐减小。

当禽类养殖孵化室内的环境湿度不能达到设定的湿度时，电压比较器IC2的反相输入端（－）的比较电压再次低于正相输入端（＋）的基准电压，因此由其电压比较器IC2的输出端再次输出高电平，三极管VT再次导通，继电器K线圈再次得电，相应触点动作；

常开触点K-1闭合，再次接通加湿器的供电电源，加湿器开始加湿工作；

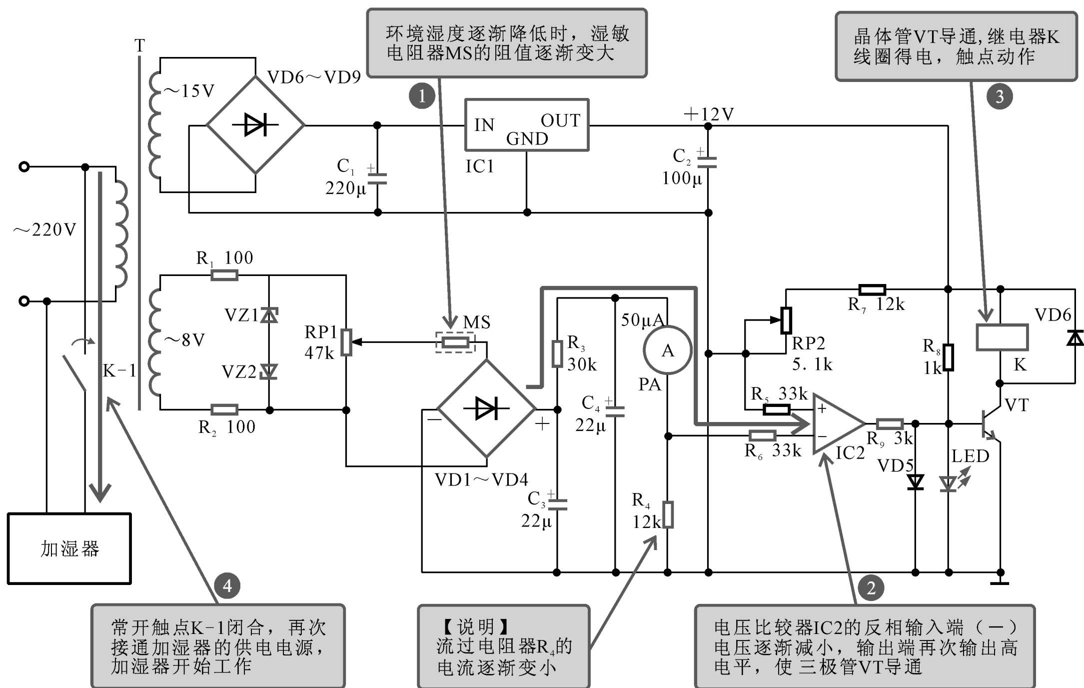


图 11-15　禽类养殖孵化室的再次加湿过程

如此反复循环，来保证禽类养殖孵化室内的湿度保持在一定范围内。

11.2.4　养鱼池间歇增氧控制电路中电气设备的电气控制是如何实现的



养鱼池间歇增氧控制电路是指控制鱼类养殖增氧设备的间歇工作，通过时基集成电路输出不同相位的信号，来控制继电器的间歇工作，同时通过控制开关的接通与断开来控制继电器触点接通与断开时间的比例，从而实现间歇增氧的功能。

图 11-16 所示为典型养鱼池间歇增氧控制电路，由图可知，该电路主要是由供电电路、保护电路、指示灯控制电路和增氧设备控制电路等构成的。

下面，主要对增氧设备起动以及停机的控制过程进行学习，了解这些电气设备的控制是怎样实现的。

接通该电路的供电电源，交流 220V 电压经电源变压器 T 降压后，由次级输出交流 10V 电压，交流 10V 电压经桥式整流堆 VD6～VD9 整流、滤波电容器 C_1 滤波后，输出 +9V 直流电压。

+9V 直流电压一路直接加到时基集成电路 IC 的⑯脚，为其 IC 提供工作电压；另一路经电容器 C_2、电阻器 R_2 为定时器集成电路 IC 的⑫脚提供复位电压，使定时器集成电路中的计数器清零复位，定时器集成电路 IC 的⑨脚、⑩脚、⑪脚内部的振荡器工作，产生计数脉冲。



【注意】

定时器集成电路主要是用来实现鱼池的间歇增氧，其中时间的控制主要是由该电路中的计数脉冲来产生，从而间接控制增氧的时间间隔。



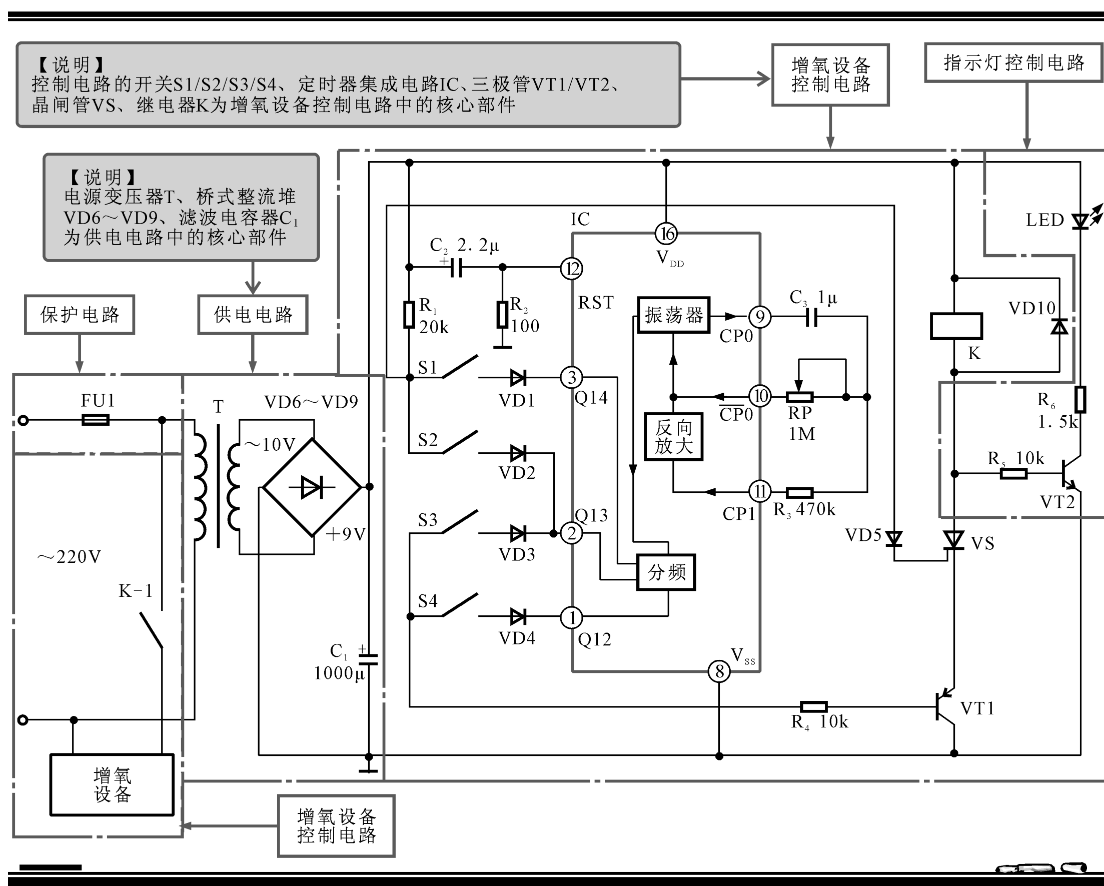


图 11-16　典型养鱼池间歇增氧控制电路

如图 11-17 所示，定时器集成电路 IC 的①脚、②脚、③脚均为分频信号的输出端，各脚输出的脉冲相位和时序不同，利用该信号端输出信号的相位关系，可以使继电器间歇工作。

例如将开关 S1 和 S3 设置为断开，S2 和 S4 设置为闭合，当时基集成电路 IC 的①脚输出为高电平，②脚输出为低电平的时段内。

IC 的①脚输出高电平使三极管 VT1 截止（VT1 为 PNP 型三极管，当基极 b 电压低于发射极 e 电压时，才可导通）。

IC 的②脚输出低电平使二极管 VD5 截止，晶闸管 VS 截止，继电器 K 线圈不能得电，增氧设备不能起动工作。

由图 11-17 可知，三极管 VT1 和晶闸管 VS 截止，使三极管 VT2 的基极 b 电压升高，因此 VT2 导通。

三极管 VT2 导通，指示灯 LED 点亮（VT2 为 NPN 型三极管，当基极电压 b 高于发射极电压时，即可导通）。

1. 增氧设备起动的过程

当需要对鱼池进行增氧时，即定时器集成电路 IC 的①脚输出为低电平，②脚输出为高电平的时段，如图 11-18 所示，IC 的②脚输出高电平使二极管 VD5 导通，触发晶闸管 VS 也导通。

IC 的①脚输出低电平使三极管 VT1 导通（此时 VT1 的基极 b 电压低于发射极 e 电压）。

晶闸管 VS 和三极管 VT1 导通后，继电器 K 线圈得电。

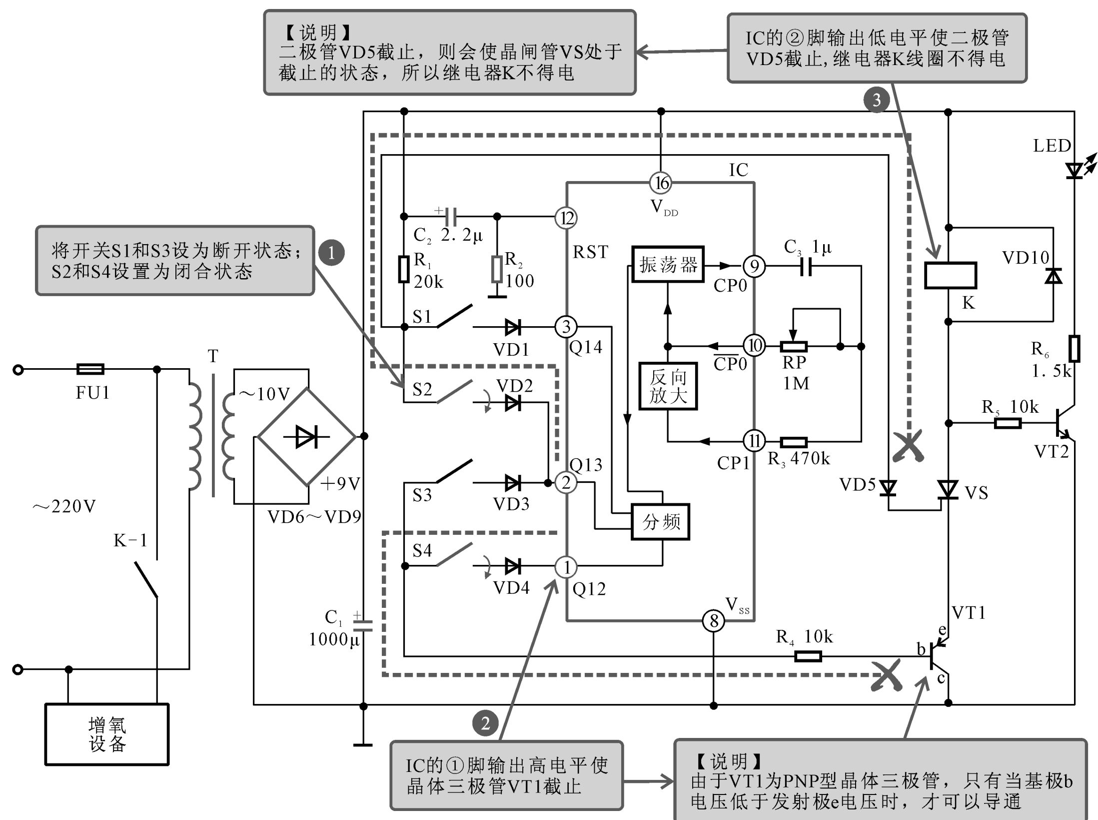


图 11-17　增氧设备的待机状态

常开触点 K-1 闭合，接通增氧设备供电电源，增氧设备起动进行增氧工作。

三极管 VT1 和晶闸管 VS 导通后，三极管 VT2 的基极 b 为低电平。三极管 VT2 截止，指示灯 LED 熄灭（此时 VT2 的基极 b 电压降低）。

2. 增氧设备停机的过程

当时基集成电路 IC 的①脚和②脚均输出为低电平的时，根据前面所学知识可知：二极管 VD5 截止，晶闸管 VS 截止，进而三极管 VT1 也截止（此时 VT1 的发射极 e 无电压），继电器 K 线圈失电，相应触点复位，常开触点 K-1 复位断开，切断增氧设备供电电源，增氧设备停止进行增氧工作。

三极管 VT1 和晶闸管 VS 截止后，三极管 VT2 的基极再次变为高电平，进而 VT2 导通，指示灯 LED 再次点亮（此时 VT2 基极电压 b 高于发射极 e 电压）。

如此反复循环，来完成鱼类养殖池的定时增氧控制。

11.2.5　农田排灌自动控制电路中电气设备的电气控制是如何实现的



农田排灌自动控制电路是指在进行农田灌溉时能够根据排灌渠中水位的高低自动控制排灌电动机的起动和停机，从而防止了排灌渠中无水而排灌电动机仍然工作的现象，进而起到保护排灌电动机的作用。图 11-19 所示为典型农田排灌自动控制电路。



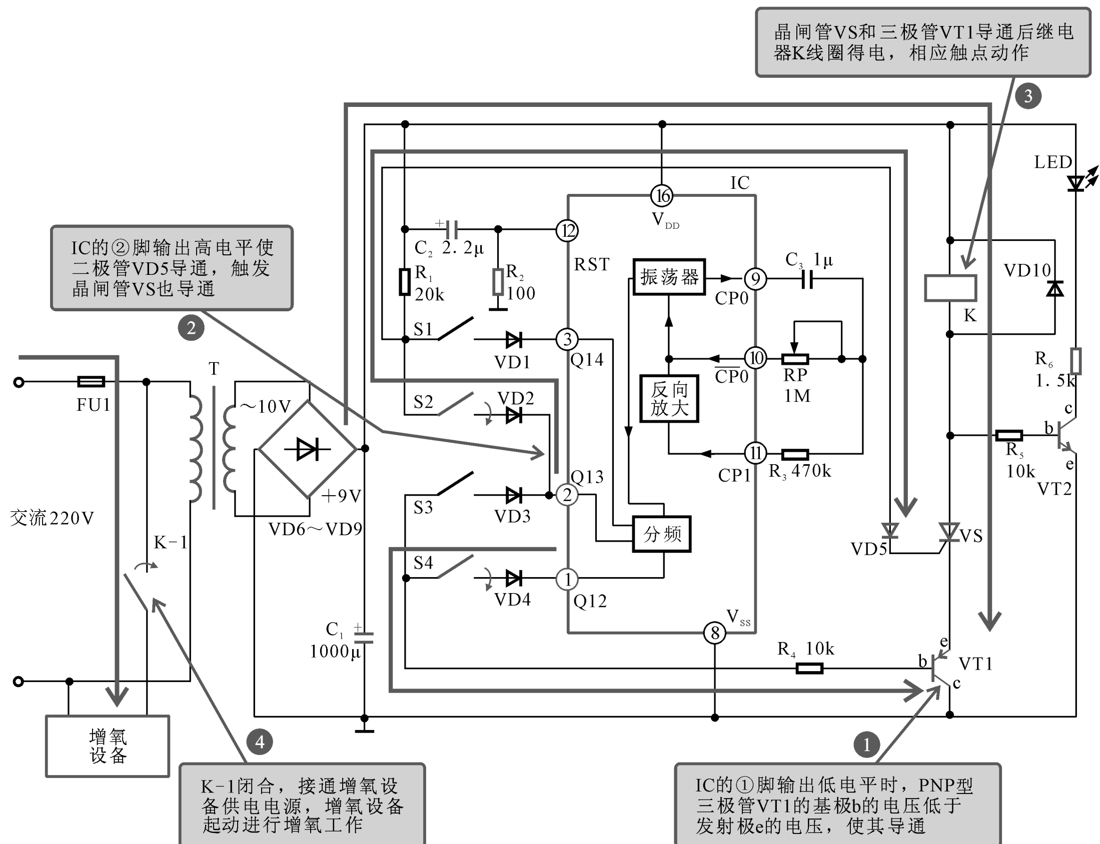


图 11-18　增氧设备起动的过程

由图 11-19 可知，农田排灌自动控制电路主要由供电电路、保护电路、检测电路、控制电路和三相交流电动机（排灌电动机）等构成。

下面，主要通过对农田排灌电动机的起动、农田排灌电动机的停机以及手动停机的控制过程进行学习，了解这些电气设备的控制是怎样实现的。

1. 农田排灌电动机的起动过程

合上电源总开关 QS，接通三相电源，如图 11-20 所示，相线 L_2 与零线 N 间的交流 220V 电压经电阻器 R_1 和电容器 C_1 降压，整流二极管 VD1、VD2 整流，稳压二极管 VZ 稳压，滤波电容器 C_2 滤波后，输出 +9V 直流电压。

该电路中的供电电压准备好后，当排灌渠中有水时，+9V 直流电压一路直接加到开关集成电路 IC2 的①脚，另一路经电阻器 R_2 和水位检测电极 a、b 加到 IC1 的⑤脚，此时开关集成电路 IC2 内部的电子开关导通，由其②脚输出 +9V 电压。

如图 11-21 所示，开关集成电路 IC2 的②脚输出的 +9V 电压经电阻器 R_4 加到光电耦合器 IC1 的发光二极管上。

光耦合器 IC1 的发光二极管导通发光后照射到光敏三极管上，光敏三极管导通，并由发射极发出触发信号触发双向触发二极管 VD 导通，进而触发双向晶闸管 VS 导通。

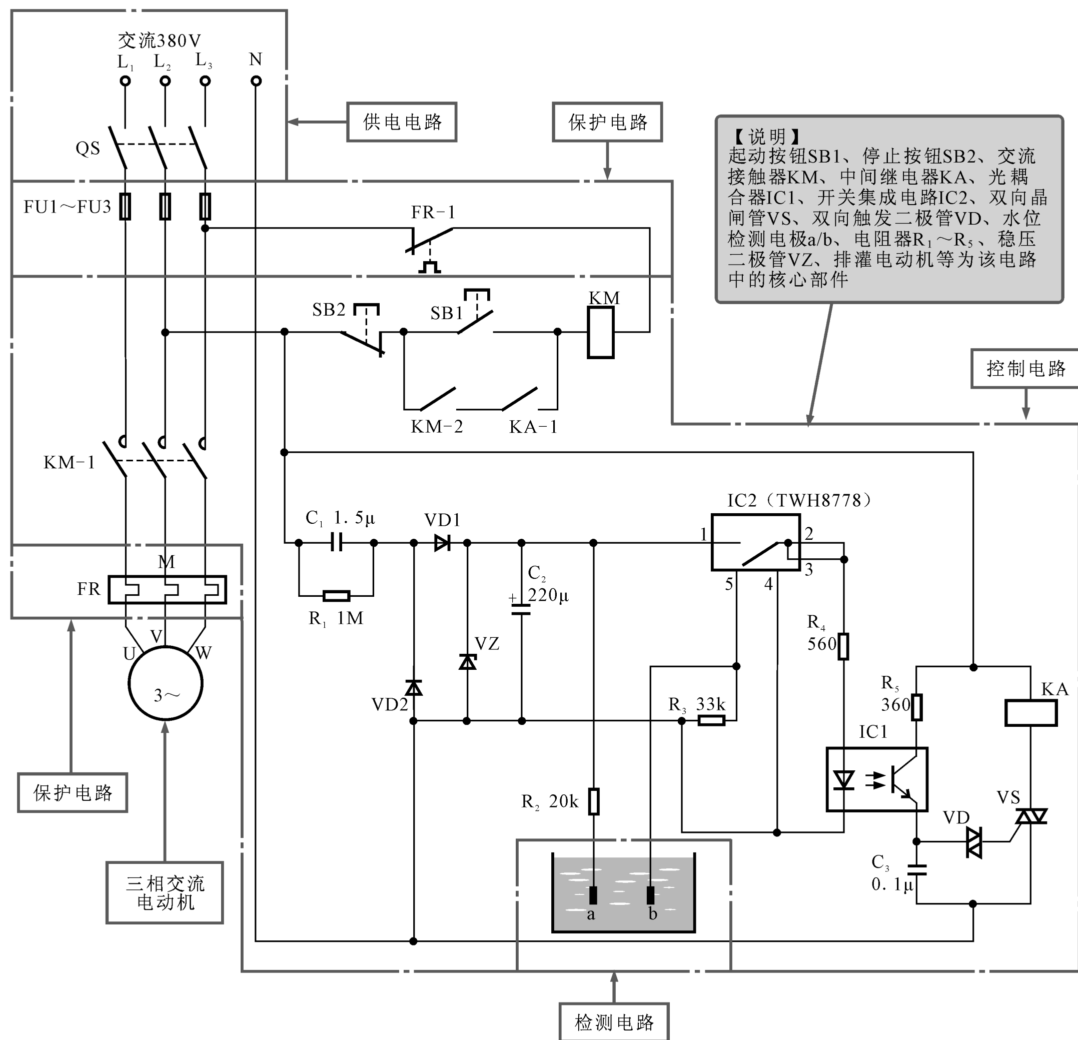


图 11-19　典型农田排灌自动控制电路

双向晶闸管 VS 导通后，中间继电器 KA 线圈得电，相应的触点动作：

常开触点 KA-1 闭合，为交流接触器 KM 线圈得电实现自锁功能做好准备。

如图 11-22 所示，按下起动按钮 SB1 后，触点闭合，交流接触器 KM 线圈得电，相应触点动作：

常开辅助触点 KM-2 闭合，与中间继电器 KA 闭合的常开触点 KA-1 组合，实现自锁功能；常开主触点 KM-1 闭合，排灌电动机接通三相电源，起动运转。

排灌电动机运转后，带动排水泵进行抽水，来对农田进行灌溉作业。

2. 农田排灌电动机的自动停机过程

当排水泵抽出水进行农田灌溉后，排水渠中的水位逐渐降低，水位降至最低时，水位检测电极 a 与电极 b 由于无水而处于开路状态，断开电路，此时，开关集成电路 IC2 内部的电子开关复位断开。

光耦合器 IC1、双向触发二极管 VD、双向晶闸管 VS 均截止，中间继电器 KA 线圈失电。

中间继电器 KA 线圈失电后，常开触点 KA-1 复位断开，切断交流接触器 KM 的自锁功能，交流接触器 KM 线圈失电，相应的触点复位：

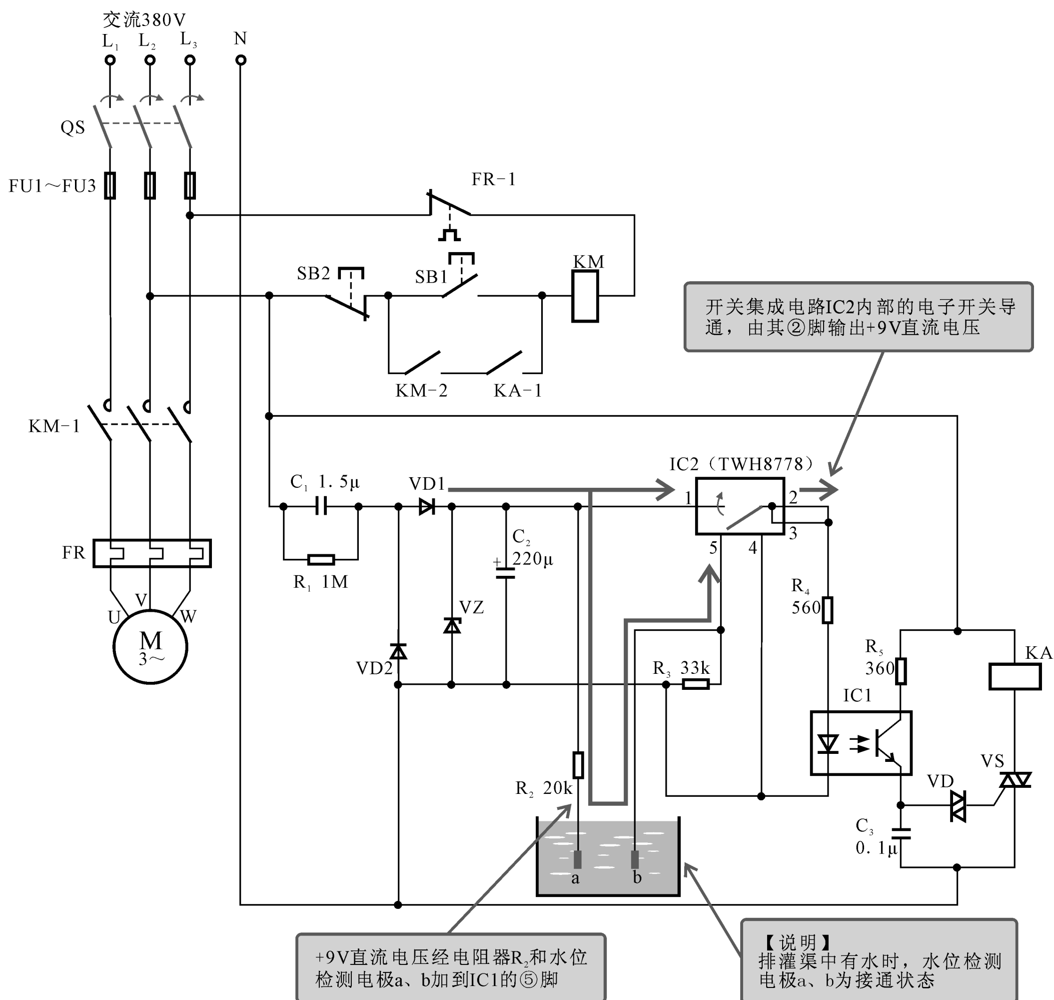


图 11-20　开关集成电路 IC2 导通过程

常开辅助触点 KM-2 复位断开，解除自锁功能；

常开主触点 KM-1 复位断开，切断排灌电动机的供电电源，排灌电动机停止运转。

3. 农田排灌电动机的手动停机过程

在对该类电气设备进行控制的过程中，若需要进行手动使排灌电动机停止运转时，可按下停止按钮 SB2，切断供电电源。停止按钮 SB2 内触点断开后，交流接触器 KM 线圈失电，相应的触点均复位：

常开辅助触点 KM-2 复位断开，解除自锁功能；

常开主触点 KM-1 复位断开，切断排灌电动机的供电电源，排灌电动机停止运转。

④ 常开主触点KA-1闭合，为交流接触器KM线圈得电实现自锁功能做好准备

③ 双向触发晶闸管VS导通后，中间继电器KA线圈得电，相应的触点动作

① +9 V电压送至光电耦合器IC1内发光二极管，发光二极管导通发光

② 光敏三极管导通后，并由发射极发出触发信号使双向触发二极管VD导通

图 11-21　中间继电器 KA 线圈得电及触点动作过程

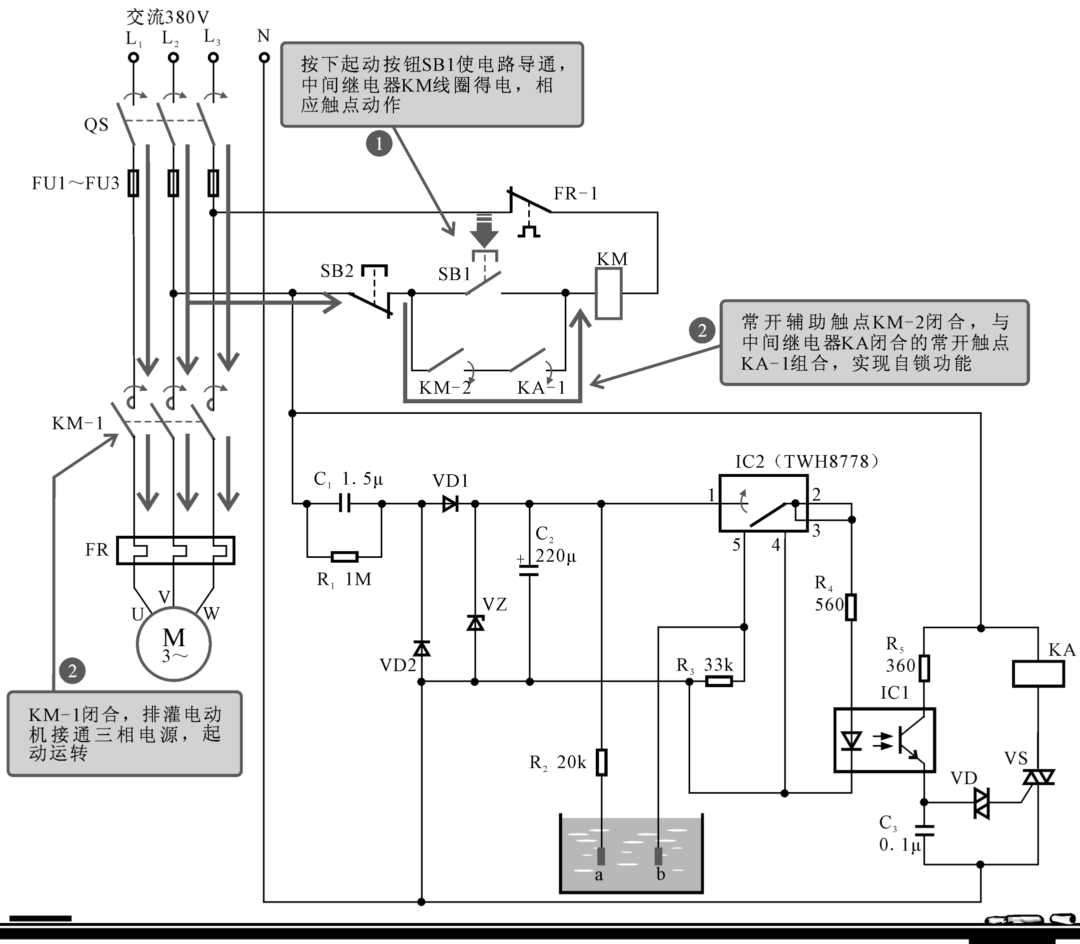


图 11-22　农田排灌电动机的起动过程

第 12 章

充满神秘的PLC



现在我们开始学习第 12 章，这一章我们主要学习 PLC 的一些基本知识，这些基本知识是学习 PLC 相关内容的基础，希望大家通过本章的学习能够基本了解什么是 PLC，并对 PLC 的结构、功能方面等有初步认识。好了，很多神秘的知识等待着我们探索，让我们开始吧！

12.1　什么是 PLC





PLC 是一种电子装置，它能够直接进行数字运算操作，服务于大中型工业用户现场的操作管理。综合来说，PLC 是在继电器、接触器控制和计算机技术的基础上，逐渐发展起来的以微处理器为核心，集微电子技术、自动化技术、计算机技术、通信技术为一体，以工业自动化控制为目标的新型控制装置。

12.1.1　PLC，好奇怪的名字



大家在学习之初可能会有疑问，为什么要用“PLC”这三个奇怪的字母组合，而不是其他的字母呢。其实，这三个字母是三个英文单词的首字母，它们分别是“Programmable”“Logic”“Controller”，对应的中文含义为“可编程的”“逻辑”“控制器”，因此，PLC 的含义全称是可编程逻辑控制器，不过随着微电子技术的发展，这种控制器不再仅仅局限于逻辑运算，于是 PLC 便成为了这类可编程控制器的统称。

图 12-1 所示为典型 PLC 的实物外形。

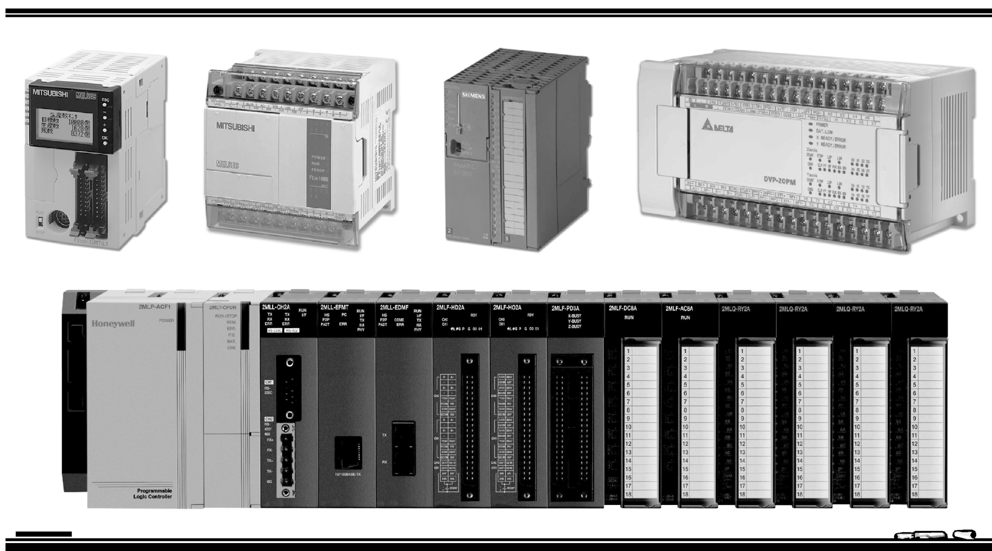


图 12-1　典型 PLC 的实物外形



提问

我看到指针式万用表的表盘上有很多个检测挡位和连接插孔，在使用时不知道该选择哪个。请问各个挡位和连接插孔都是什么含义呢？我还是有些不明白，所谓控制器就是能够实现控制功能的一种器件或设备，那么什么叫可编程的控制器？这里的“可编程”是什么意思？





“可编程”从字面意思理解就是“可以编写程序”，结合起来就是“可以编写程序的控制器”，它是意思是说，这种控制器内部的控制程序可以编写，通过写入不同的应用程序就可以实现不同的控制功能了。

回答

12.1.2　PLC 里有什么



在大家了解了什么是 PLC 后，是不是都想知道 PLC 里头有什么东西？带着疑问，我们找来一台西门子的 PLC，拆开它的外壳，一探究竟。

图 12-2 为典型西门子 PLC 拆开外壳后的内部结构图（西门子 S7-200 系列 PLC）。

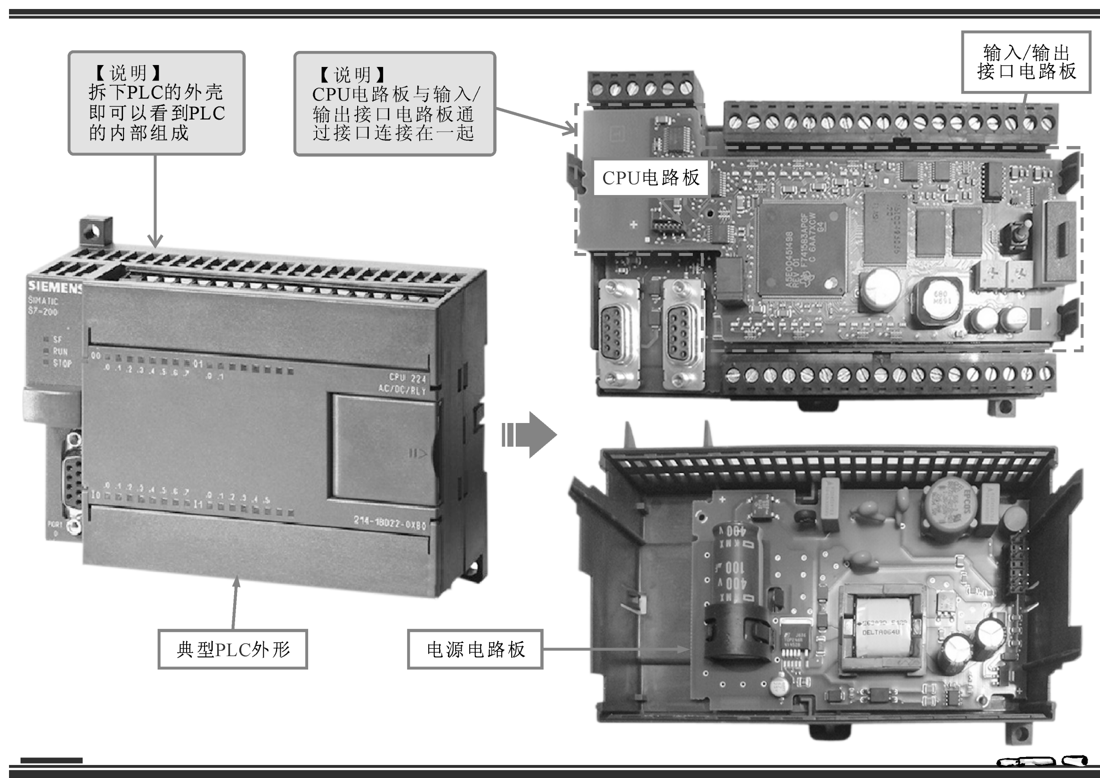


图 12-2　典型西门子 PLC 拆开外壳后的内部结构图（西门子 S7-200 系列 PLC）

由图 12-2 可以看到，PLC 内部主要由三块电路板构成，分别是 CPU 电路板、输入/输出接口电路板和电源电路板。

1.　CPU 电路板

CPU 电路板主要用于完成 PLC 的运算、存储和控制功能。图 12-3 所示为 CPU 电路板结构，

可以看到，该电路板上设有微处理器芯片、存储器芯片、PLC 状态指示灯、输出 LED 指示灯、输入 LED 指示灯、模式选择转换开关、模拟量调节电位器、电感器、电容器、与输入/输出接口电路板连接的接口等。

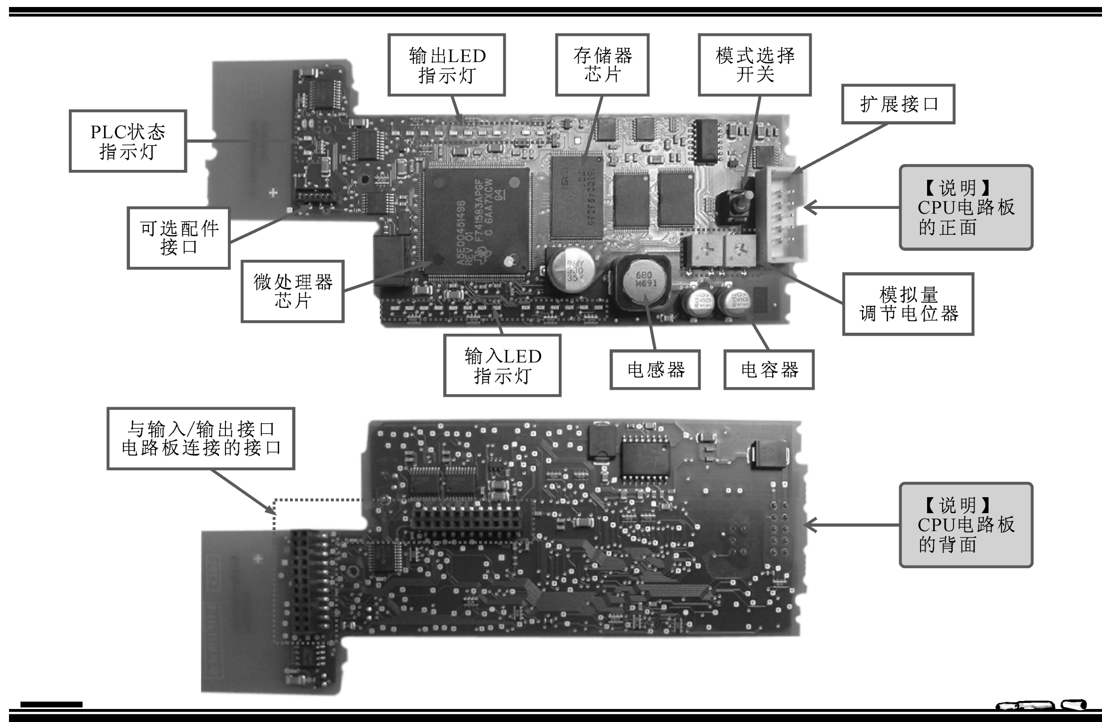


图 12-3　CPU 电路板的结构

2. 输入/输出接口电路板

输入/输出接口电路板主要用于对 PLC 输入、输出信号的处理。图 12-4 所示为输入/输出接口电路板结构，可以看到，该电路板主要由输入接口、输出接口、电源输入接口、传感器输出接口、与 CPU 电路板的接口、与电源电路板的接口、RS-232/RS-485 通信接口、输出继电器、光电耦合器等构成。

3. 电源电路板

电源电路板主要用于为 PLC 内部各电路提供所需的工作电压。图 12-5 所示为电源电路板结构，可以看到，该电路板主要由桥式整流堆、压敏电阻器、电容器、变压器、与输入/输出接口电路板的接口等构成。

12.1.3　PLC 是如何工作的



图 12-6 为 PLC 的整机工作原理示意图，可以看到，PLC 可以划分成 CPU 模块、存储器、通信接口、基本 I/O 接口、电源五部分。

控制及传感部件发出的状态信息和控制指令通过输入接口（I/O 接口）送入到存储器的工作数据存储器中。在 CPU 控制器的控制下，这些数据信息会从工作数据存储器中调入 CPU 的寄存器，与 PLC 认可的编译程序结合，由运算器进行数据分析、运算和处理。最终，将运算结果或控制指令通过输出接口传送给继电器、电磁阀、指示灯、蜂鸣器、电磁线圈、电动机等外部设备及功能部件。这些外部设备及功能部件即会执行相应的工作。



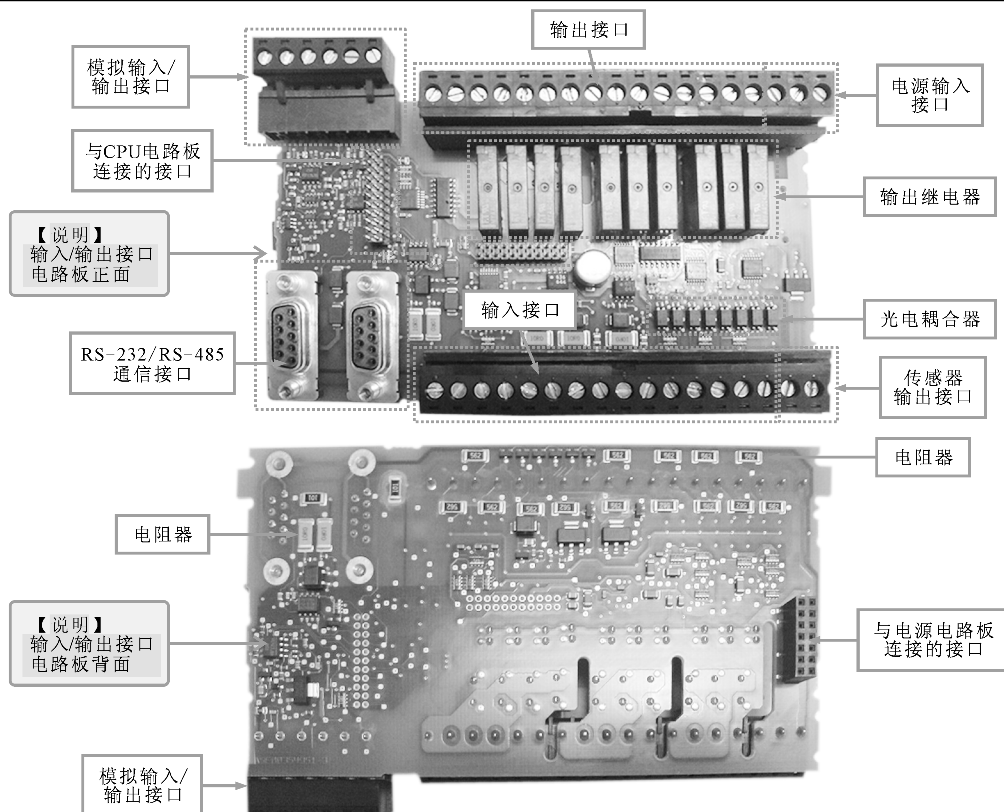


图 12-4　输入/输出接口电路板的结构

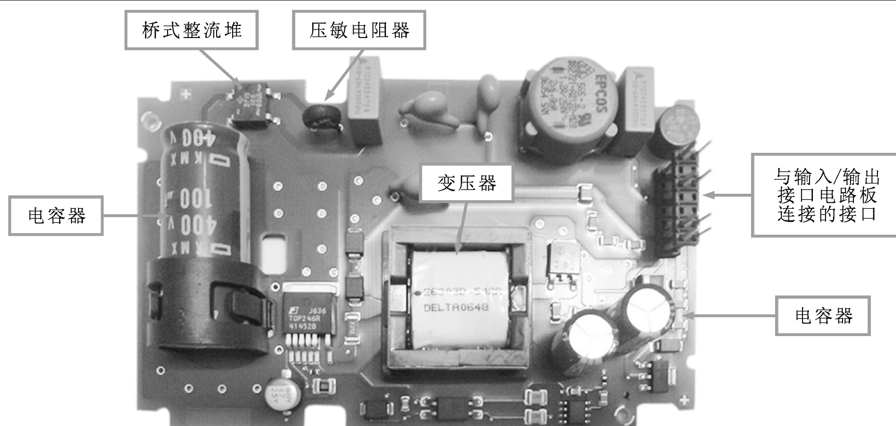


图 12-5　电源电路板的结构

1. CPU

CPU（中央处理器）是 PLC 的控制核心，它主要由控制器、运算器和寄存器三部分构成。通过数据总线、控制总线和地址总线与其内部存储器及 I/O 接口相连。

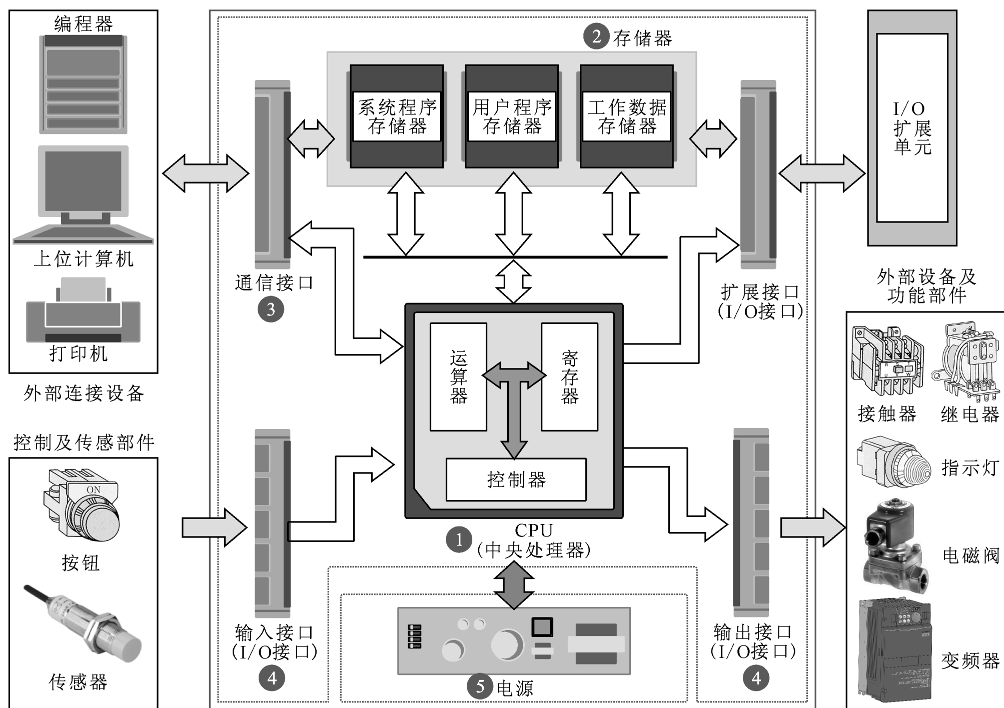


图 12-6　PLC 的整机工作原理示意图

CPU 的性能决定了 PLC 的整体性能。不同的 PLC 配有不同的 CPU，其主要作用是接收、存储由编程器输入的用户程序和数据，对用户程序进行检查、校验、编译，并执行用户程序。

2. 存储器

PLC 的存储器一般分为系统程序存储器、用户程序存储器和工作数据存储器。其中，系统程序存储器为只读存储器（ROM），用于存储系统程序。系统程序是由 PLC 制造厂商设计编写的，用户不能直接读写和更改。一般包括系统诊断程序、输入处理程序、编译程序、信息传送程序、监控程序等。

用户程序存储器为随机存储器（RAM），用于存储用户程序。用户程序是用户根据控制要求，按系统程序允许的编程规则，用厂家提供的编程语言编写的程序。

当用户编写的程序存入后，CPU 会向存储器发出控制指令，从系统程序存储器中调用解释程序将用户编写的程序进行进一步的编译，使之成为 PLC 认可的编译程序，如图 12-7 所示。

工作数据存储器也为随机存储器（RAM），用来存储工作过程中的指令信息和数据。

3. 通信接口

通信接口通过编程电缆与编程设备（计算机）连接或 PLC 与 PLC 之间连接，如图 12-8 所示，计算机通过编程电缆对 PLC 进行编程、调试、监视、试验和记录。

4. 基本 I/O 接口

基本 I/O 接口是 PLC 与外部各设备联系的桥梁，可以分为 PLC 输入接口和 PLC 输出接口两种。

（1）输入接口

输入接口主要为输入信号采集部分，其作用是将被控对象的各种控制信息及操作命令转换成 PLC 输入信号，然后送给 CPU 的运算控制电路部分。



PLC 的输入接口根据输入端电源类型不同主要有直流输入接口和交流输入接口两种，如图 12-9 所示，可以看到，PLC 外接的各种按钮、操作开关等提供的开关信号作为输入信号经输入接线端子后送至 PLC 内部接口电路（电阻器、电容器、发光二极管、光电耦合器等构成），在接口电路部分进行滤波、光电隔离、电平转换等处理，将各种开关信号变为 CPU 能够接收和处理的标准信号（图中只画出对应于一个输入点的输入电路，各个输入点所对应的输入电路均相同）。

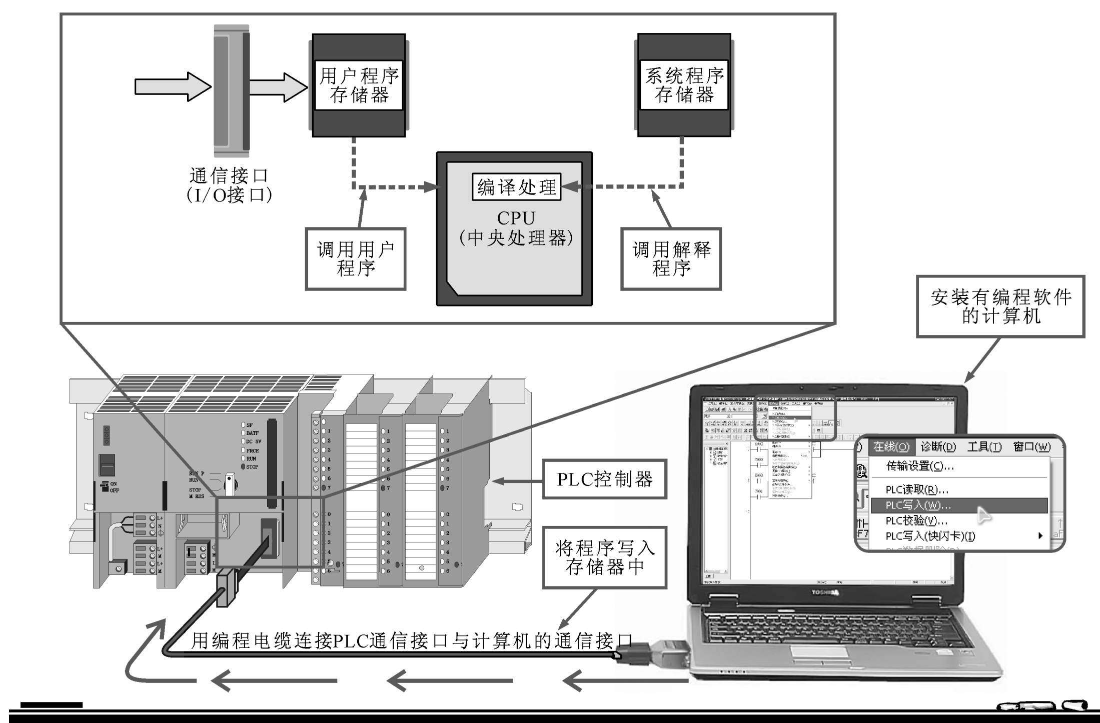


图 12-7　用户程序的写入、编译

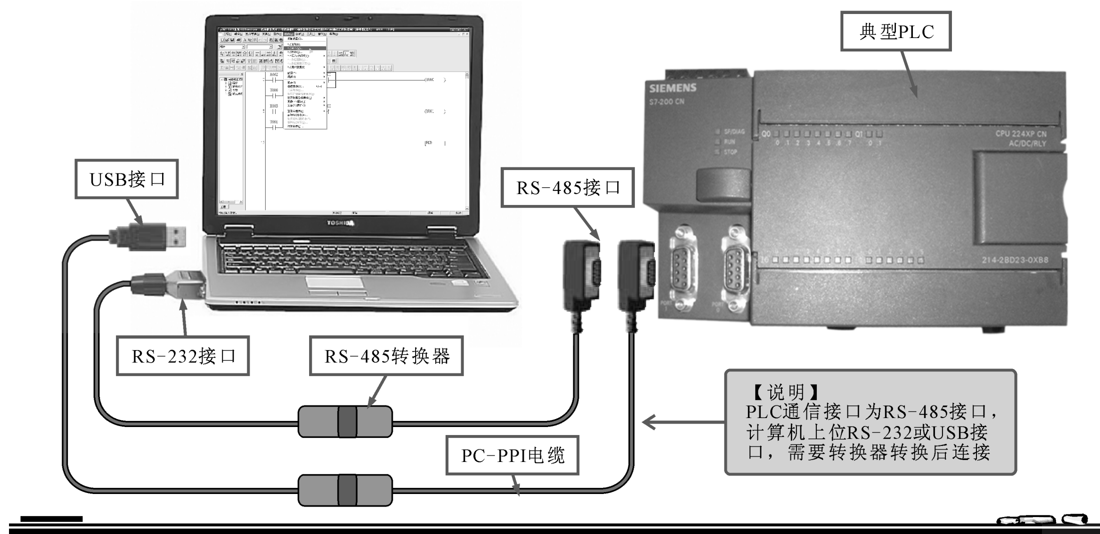


图 12-8　PLC 通信接口的连接

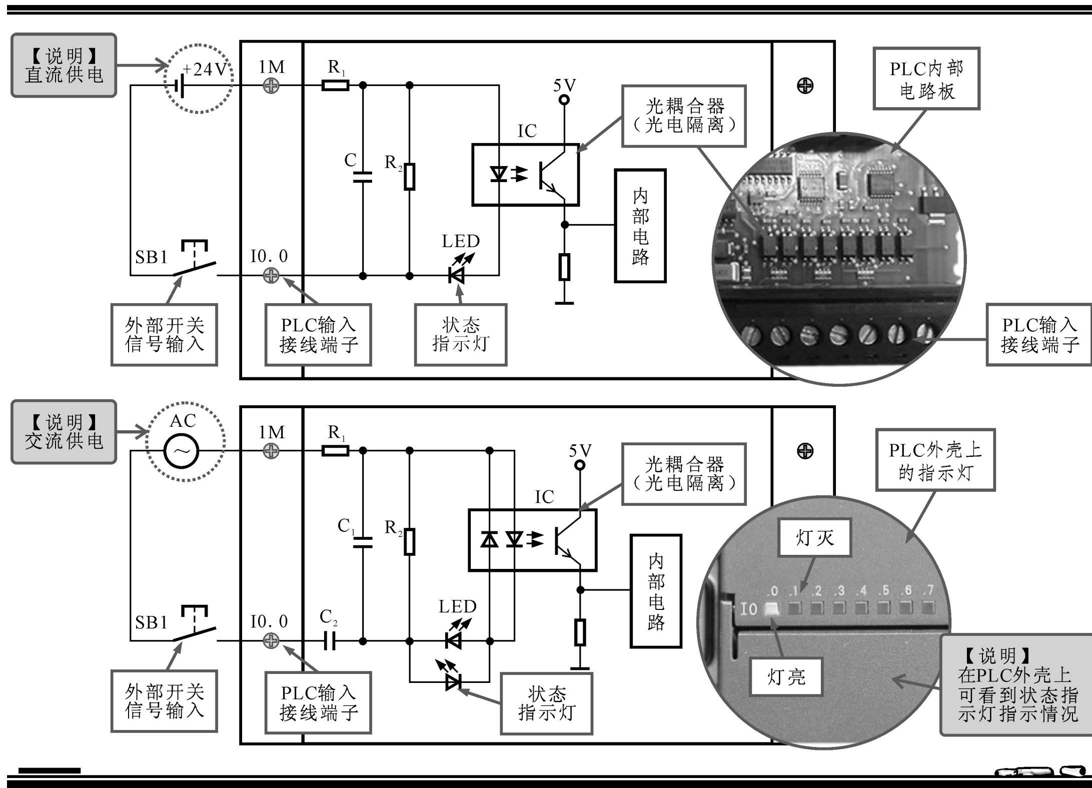


图 12-9　PLC 的输入接口部分

在图 12-10a 中，PLC 输入接口电路部分主要由电阻器 R_1、R_2、电容器 C、光耦合器 IC、发光二极管 LED 等构成。其中 R_1 为限流电阻、R_2 与 C 构成滤波电路，用于滤除输入信号中的高频干扰；光耦合器起到光电隔离的作用，防止现场的强电干扰进入 PLC 中；发光二极管用于显示输入点的状态。

在图 12-10b 中，交流输入电路中，电容器 C_2 用于隔离交流强电中的直流分量，防止强电干扰损坏 PLC。另外，光耦合器内部为两个方向相反的发光二极管，任意一个发光二极管导通都可以使光耦合器中光敏三极管导通并输出相应信号。状态指示灯也采用了两个反向并联的发光二极管，光耦合器中任意一只二极管导通都能使状态指示灯点亮（直流输入电路也可以采用该结构，外接直流电源时可不用考虑极性）。

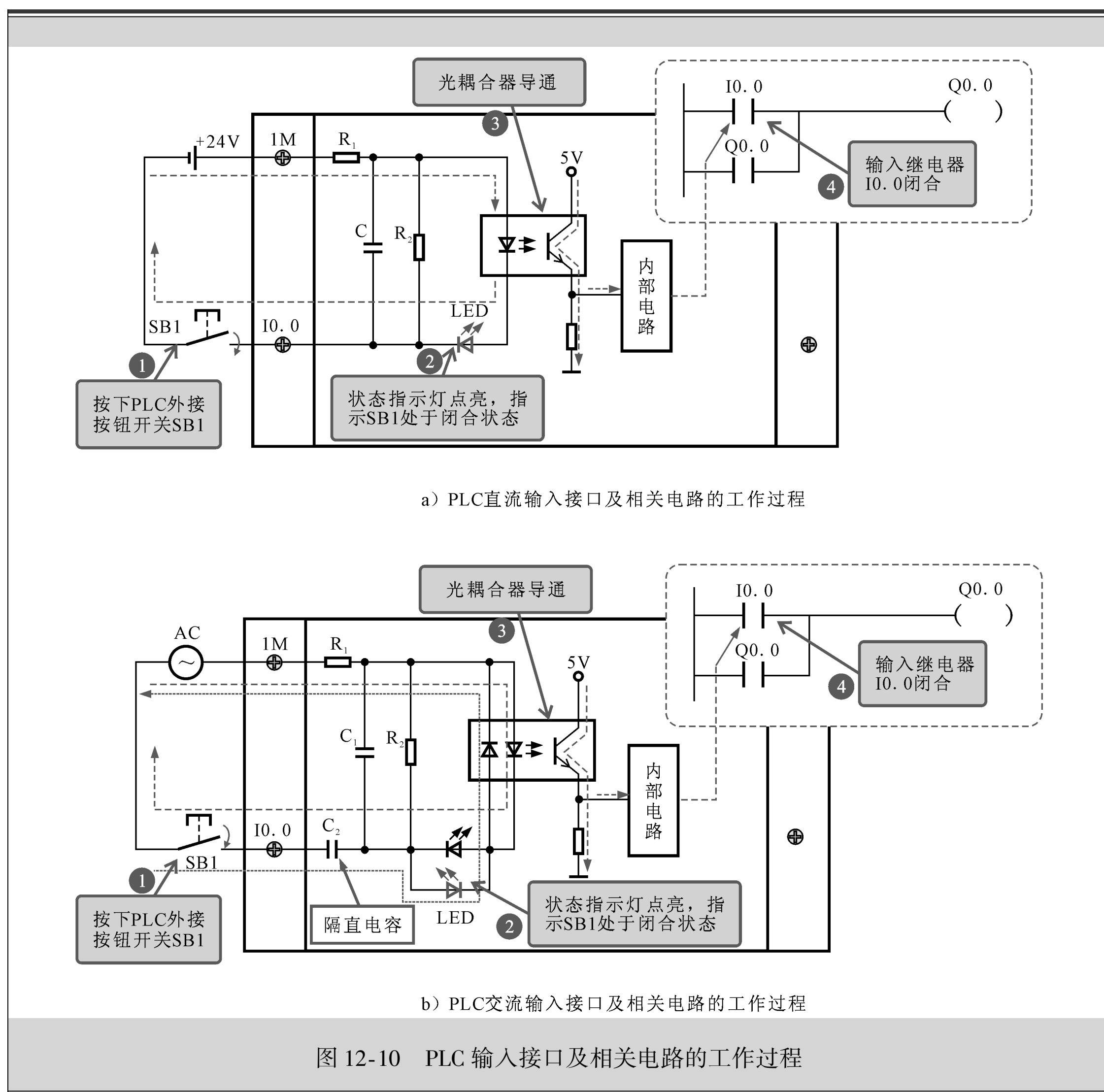


【资料】

PLC 输入接口及相关电路的工作过程如图 12-10 所示。以图 12-10a 为例，可以看到，当按下 PLC 外接开关部件（按钮 SB1）时，PLC 内光耦合器导通，发光二极管 LED 点亮，用以指示开关部件 SB1 处于闭合状态。此时，光耦合器输出端输出高电平，该高电平信号送至内部电路中。CPU 识别该信号时将用户程序中对应的输入断电器触点置 1。

相反，当按钮 SB1 断开时，光耦合器不导通，发光二极管不亮，CPU 识别该信号时将用户程序中对应的输入断电器触点置 0。





a）PLC直流输入接口及相关电路的工作过程

b）PLC交流输入接口及相关电路的工作过程

图 12-10　PLC 输入接口及相关电路的工作过程

（2）输出接口

输出接口即开关量的输出单元，由 PLC 输出接口电路、连接端子和外部设备及功能部件构成，CPU 完成的运算结果由该电路提供给被控负载，用以完成 PLC 主机与工业设备或生产机械之间的信息交换。

当 PLC 内部电路输出的控制信号，经输出接口电路（光耦合器、三极管或晶闸管或继电器、电阻器等构成）、PLC 输出接线端子后，送至外接的执行部件，用以输出开关量信号，控制外接设备或功能部件的状态。

PLC 的输出电路根据输出接口所用开关器件不同，主要有三极管输出接口、晶闸管输出接口和继电器输出接口三种。

① 三极管输出接口。图 12-11 所示为三极管输出接口，它主要是由光耦合器 IC、状态指示灯 LED、输出三极管 VT、保护二极管 VD、熔断器 FU 等构成的。其中，熔断器 FU 用于防止 PLC 外接设备或功能部件短路时损坏 PLC（图中只画出对应于一个输出点的输出接口，各个输出点所对应的输出接口均相同）。

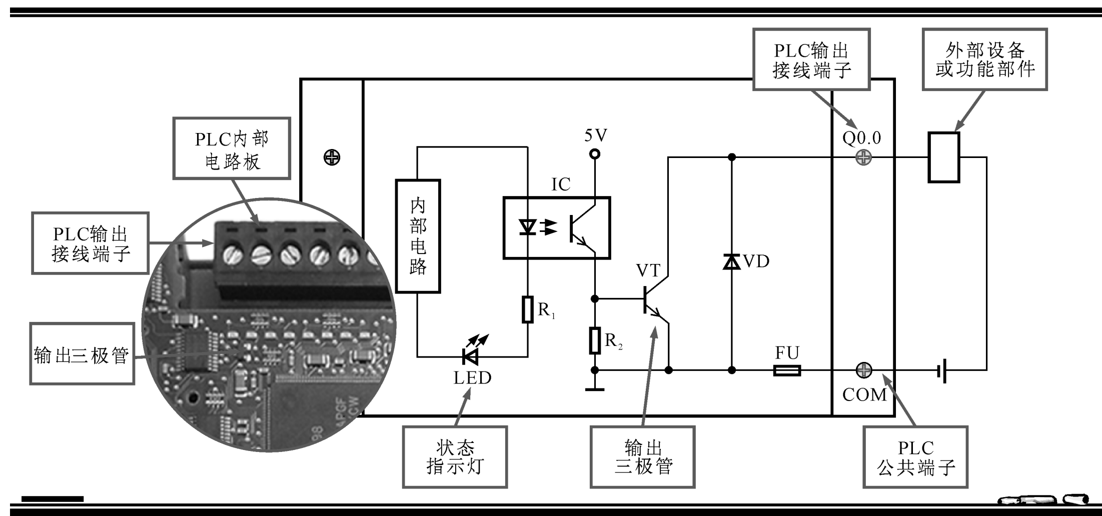


图 12-11　三极管输出接口



【资料】

PLC 三极管输出接口及相关电路的工作过程如图 12-12 所示，可以看到，PLC 内部接收到输入接口的开关量信号，使对应于三极管 VT 的内部继电器为 1，相应输出继电器得电，所对应输出电路的光耦合器导通，从而使三极管 VT 导通，PLC 外部设备或功能部件得电，同时状态指示灯 LED 点亮，表示当前该输出点状态为 1。

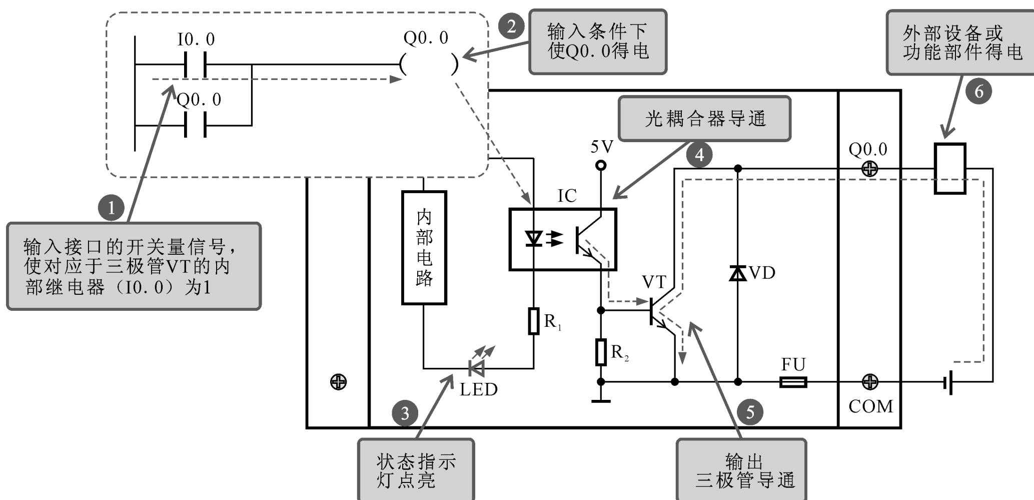


图 12-12　PLC 三极管输出接口及相关电路的工作过程

② 晶闸管输出接口。图 12-13 所示为晶闸管输出接口，它主要是由光耦合器 IC、状态指示灯 LED、双向晶闸管 VS、保护二极管 VD、熔断器 FU 等构成的。

③ 继电器输出接口。图 12-14 所示为继电器输出接口，它主要是由继电器 K、状态指示灯 LED 等构成的。

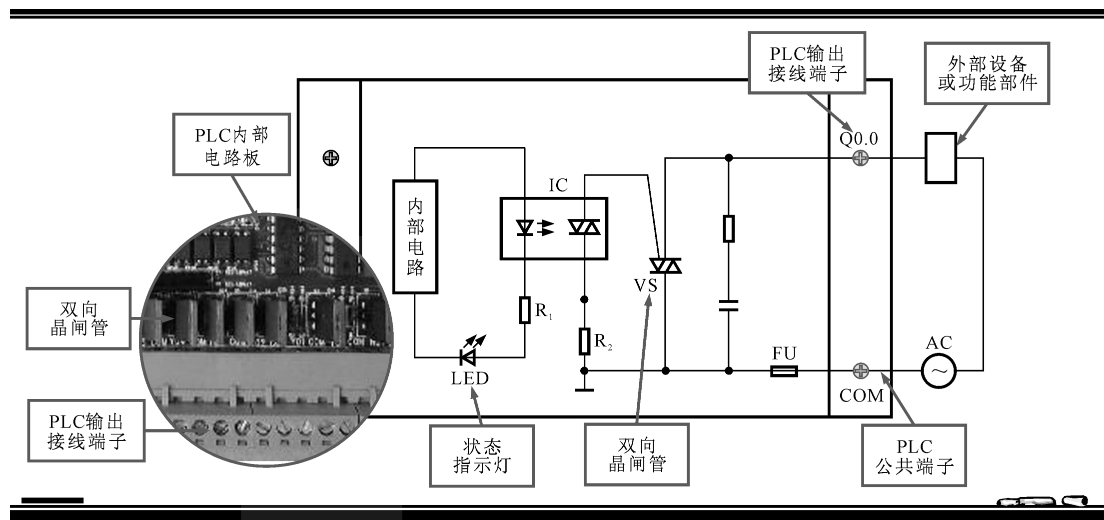


图12-13　晶闸管输出接口

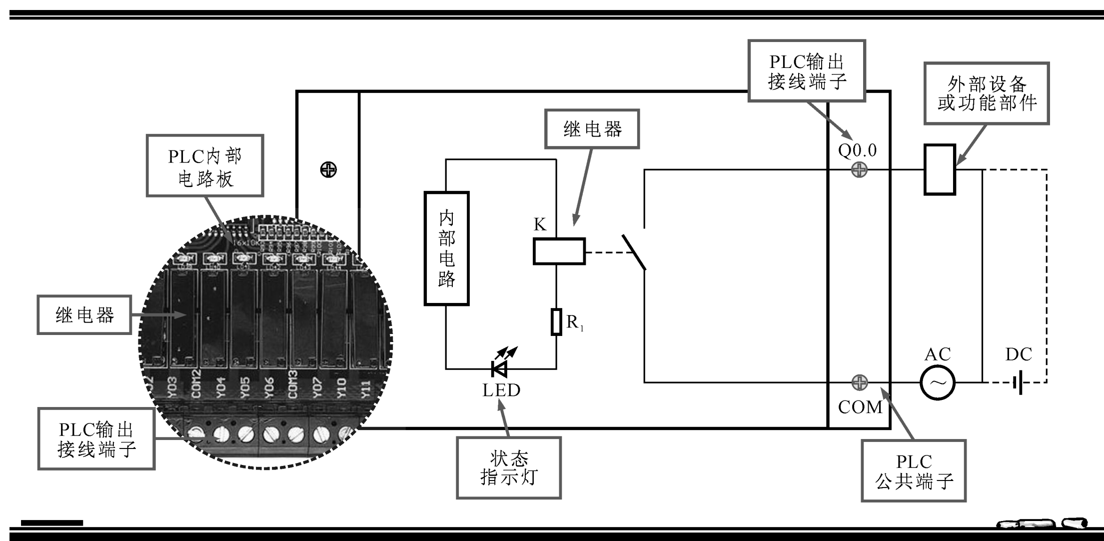


图12-14　继电器输出接口



【注意】

采用双向晶闸管和继电器的PLC输出接口电路中，具体的工作过程与图12-12基本相同，可参考分析和介绍，这里不再重复。

5. 电源

PLC内部配有一个专用开关式稳压电源，始终为各部分电路提供工作所需的电压，确保PLC工作的顺利进行。

PLC电源部分主要是将外加的交流电压或直流电压转换成微处理器、存储器、I/O电路等部分所需要的工作电压。图12-15为PLC电源电路工作过程示意图。

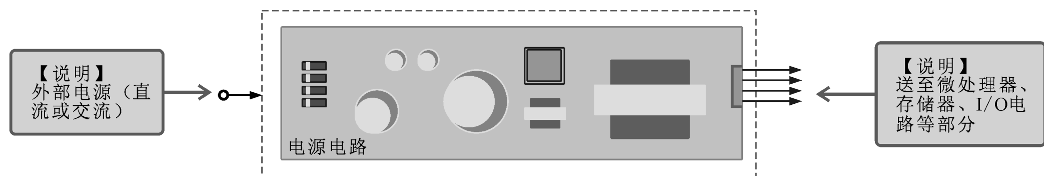


图 12-15　PLC 电源电路的工作过程示意图



【资料】

不同型号或品牌的 PLC 供电方式也有所不同，有些采用直流电源（5V、12V、24V），有些采用交流电源供电（220V/110V）。目前，采用交流电源（220V/110V）供电的 PLC 较多，该类 PLC 内置开关式稳压电源，将交流电压进行整流、滤波、稳压处理后，转换为满足 PLC 内部微处理器、存储器、I/O 电路等所需的工作电压。另外，有些 PLC 可向外部输出 24V 的直流电压，可为输入电路外接的开关部件或传感部件供电。

12.2　PLC 有什么用





PLC 在近年来发展极为迅速，随着技术的不断更新，其控制功能，数据采集、存储、处理功能，可编程、调试功能，通信联网功能，人机界面功能等也逐渐变得强大起来，使得 PLC 的应用领域得到进一步的急速扩展，广泛应用于各行各业的控制系统中。

12.2.1　我们周围的 PLC



目前，PLC 已经成为生产自动化、现代化的重要标志。众多生产厂商都投入到了 PLC 产品的研发中，PLC 的品种越来越丰富，功能越来越强大，应用也越来越广泛，无论是生产、制造还是管理、检验，都可以看到 PLC 的身影。下面，就来看看我们周围哪些领域中用到了 PLC。

1. PLC 在电动机控制系统中的应用

PLC 应用于电动机控制系统中，用来实现自动控制，并且能够在不大幅度改变外接部件的前提下，仅修改内部的程序便可实现多种多样的控制功能，使电气控制更加灵活高效。

图 12-16 为 PLC 在电动机控制系统中的应用示意图。

由图 12-16 可以看到，该系统主要是由操作部件、控制部件和电动机以及一些辅助部件构成的。

其中，各种操作部件用于为该系统输入各种人工指令，包括各种按钮开关、传感器件等；控制部件主要包括总电源开关（总断路器）、PLC 可编程序控制器、接触器、过热保护继电器等，用于输出控制指令和执行相应动作；电动机是将系统电能转换为机械能的输出部件，其执行的各种动作是该控制系统实现的最终目的。

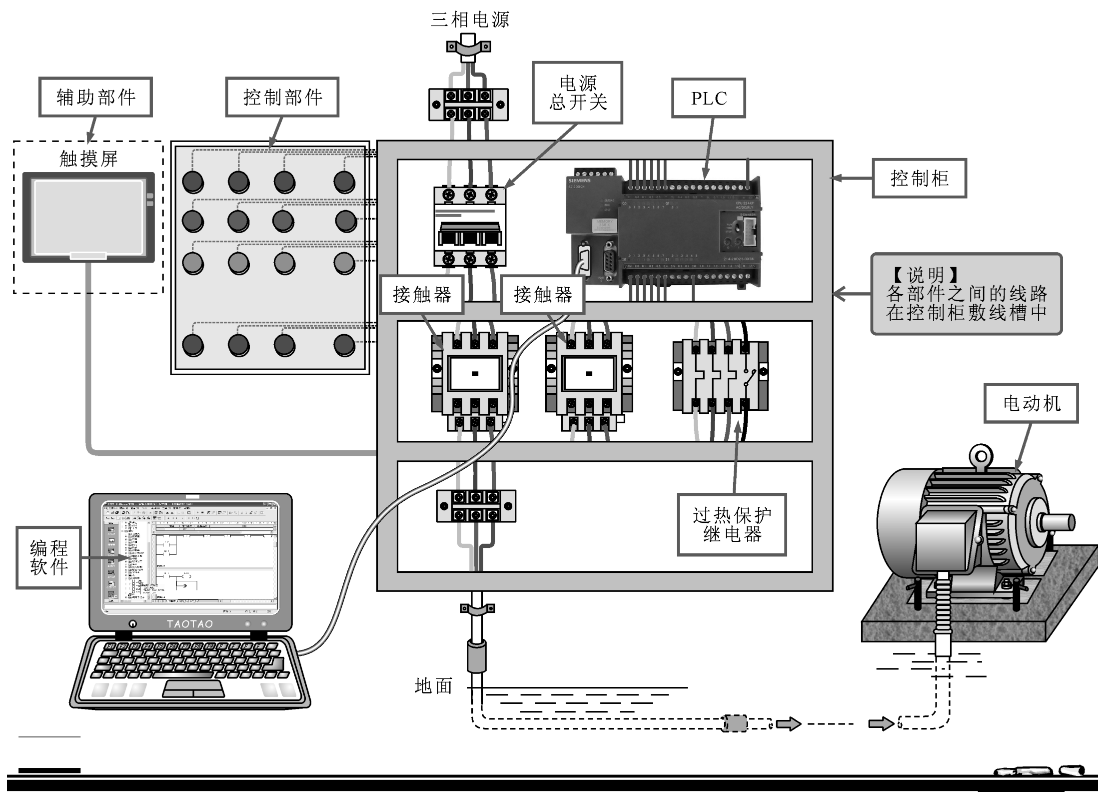


图 12-16　PLC 在电动机控制系统中的应用示意图



提问　在前面所学的电气控制电路中，大都采用继电器和接触器等控制部件，而现在的 PLC 电路与原先的电路相比，有什么优势呢？



回答

早在 PLC 问世以前，继电器控制是工业控制领域的主导方式，结构简单、价格低廉、容易操作。但是，该控制方式适应性差，变更调整不够灵活，一旦任务和工艺发生变化，必须重新设计，还必须改变硬件结构。

现代生产设备和流水线控制必须适应多变的市场需求，固定的工作模式，简单的控制逻辑已不能满足社会生产的需求。为了弥补继电器控制系统中的不足，同时降低成本，更加先进的自动控制装置——可编程控制器（PLC）应运而生。PLC 控制系统通过软件控制取代了硬件控制，用标准接口取代了硬件安装连接。用大规模集成电路与可靠元件的组合取代线圈和活动部件的搭配。不仅大大简化了整个控制系统，而且也使得控制系统的性能更加稳定，功能更加强大，而且在拓展性和抗干扰能力方面也有了显著的提高。

图 12-17 所示为工业控制中继电器-接触器控制系统与 PLC 控制系统的效果对比。PLC 不仅实现了控制系统的简化，而且在改变控制方式和效果时不需要改动电气部件的物理连接线路，只需要重新编写 PLC 内部的程序即可。

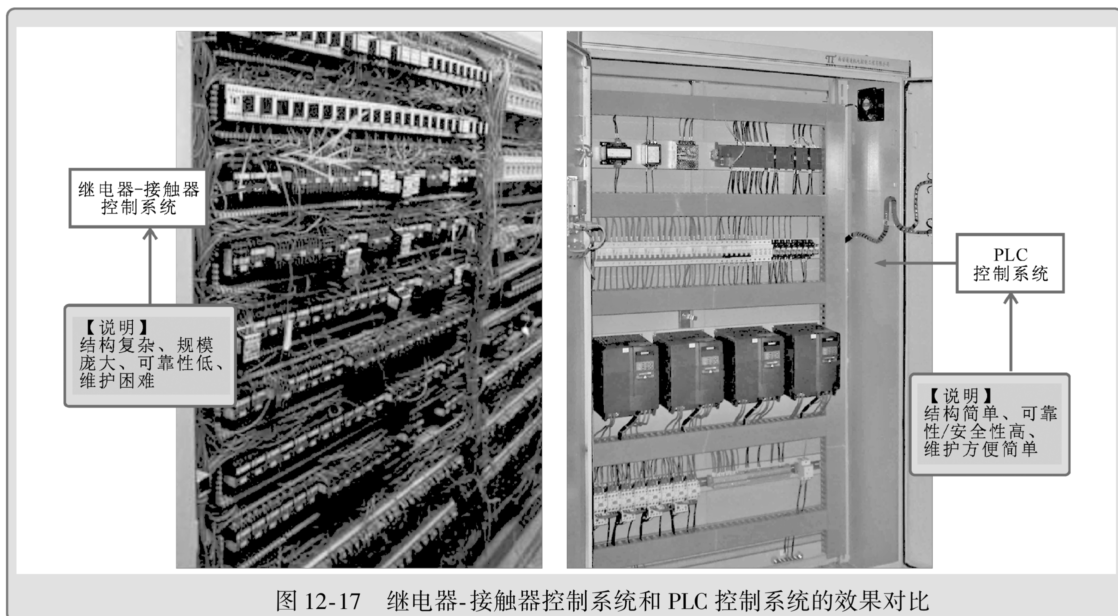


图 12-17　继电器-接触器控制系统和 PLC 控制系统的效果对比

2. PLC 在复杂机床设备中的应用

众所周知，机床设备是工业领域中的重要设备之一，也是由于其功能的强大，使得对它的控制要求更高，普通的继电器控制虽然能够实现基本的控制功能，但早已无法满足其安全可靠、高效的管理要求。

用 PLC 对机床设备进行控制，不仅提高自动化水平，在实现相应的切削、磨削、钻孔、传送等功能中更具有突出的优势。

图 12-18 所示为典型的机床 PLC 控制系统。可以看到，该系统主要是由操作部件、控制部件和机床设备构成的。

其中，各种操作部件用于为该系统输入各种人工指令，包括各种按钮开关、传感器件等；控制部件主要包括电源总开关（总断路器）、PLC 可编程控制器、接触器、变频器等，用于输出控制指令和执行相应动作；机床设备主要包括电动机、传感器、检测电路等，通过电动机将系统电能转换为机械能输出，从而控制机械部件完成相应的动作，最终实现相应的加工操作。

3. PLC 在自动化生产制造设备中的应用

PLC 在自动化生产制造设备中主要用来实现自动控制功能。PLC 在电子元件加工、制造设备中作为控制中心，使元件的输送定位驱动电机、加工深度调整电机、旋转电机和输出电机能够协调运转，相互配合实现自动化工作。

PLC 在自动化生产制造设备中的应用如图 12-19 所示。

4. PLC 在民用生产生活中的应用

PLC 不仅在电子、工业生产中广泛应用，在很多民用生产生活领域中也得到了迅速发展。如常见的自动门系统、汽车自动清洗系统、水塔水位自动控制系统、声光报警系统、流水生产线、农机设备控制系统、库房大门自动控制系统、蓄水池进出水控制系统等，都可由 PLC 控制、管理，实现自动化功能。

例如，图 12-20 为 PLC 控制库房大门示意图。用 PLC 控制库房大门的打开和关闭。库房大门可通过传感器检测驶进车辆状态来自动控制大门的开启和关闭，以便让车辆进入或离开库房。

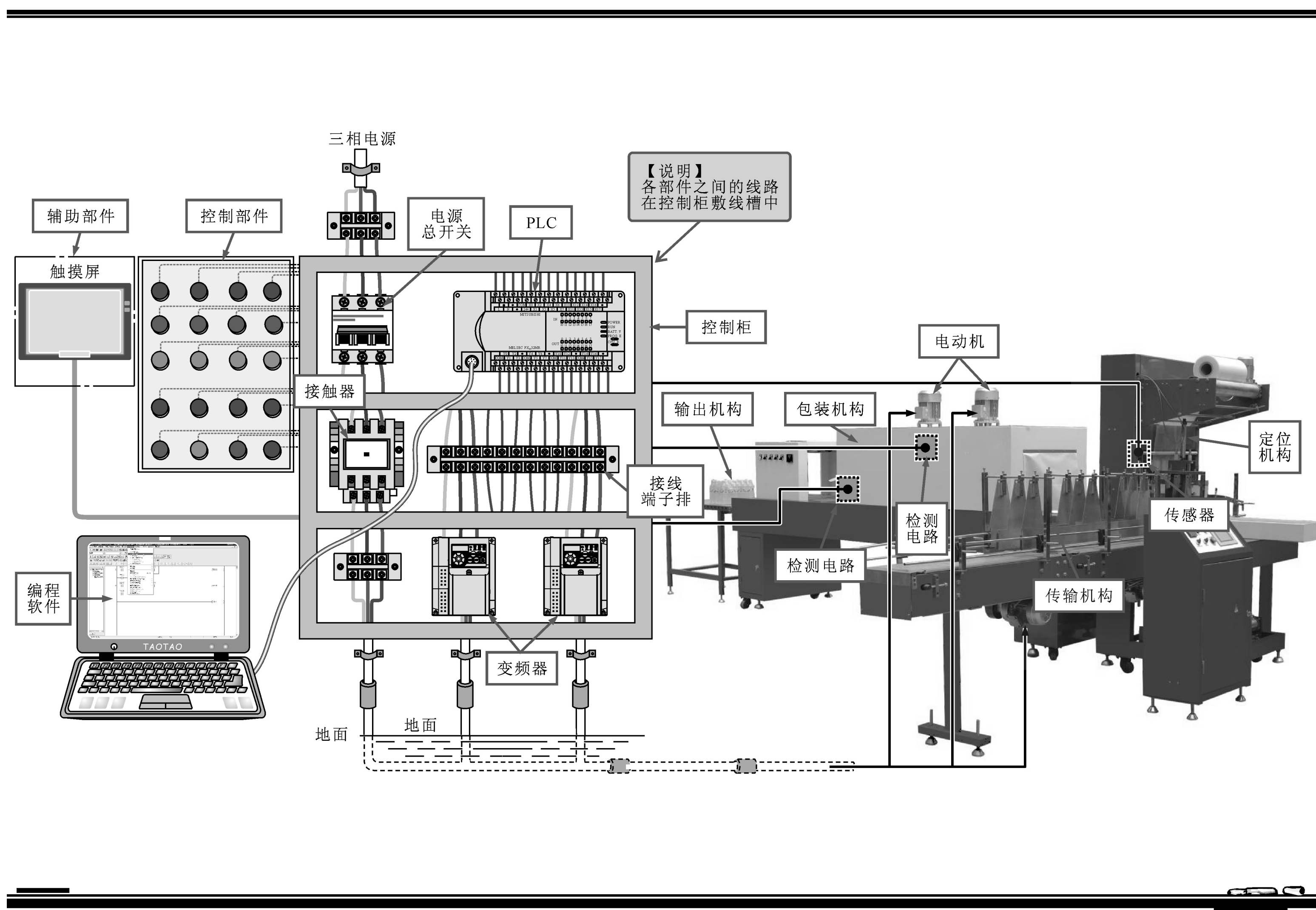


图 12-18　典型的机床 PLC 控制系统

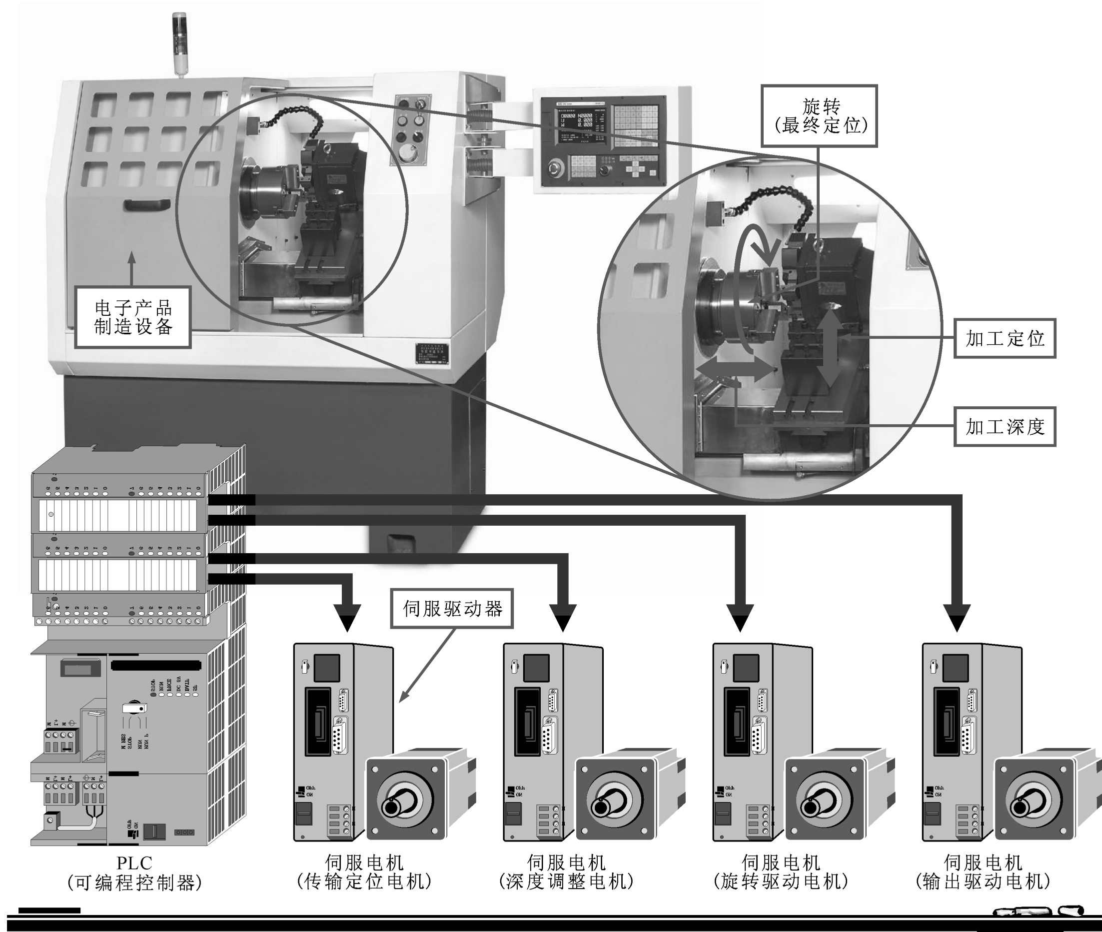


图 12-19　PLC 在自动化生产制造设备中的应用

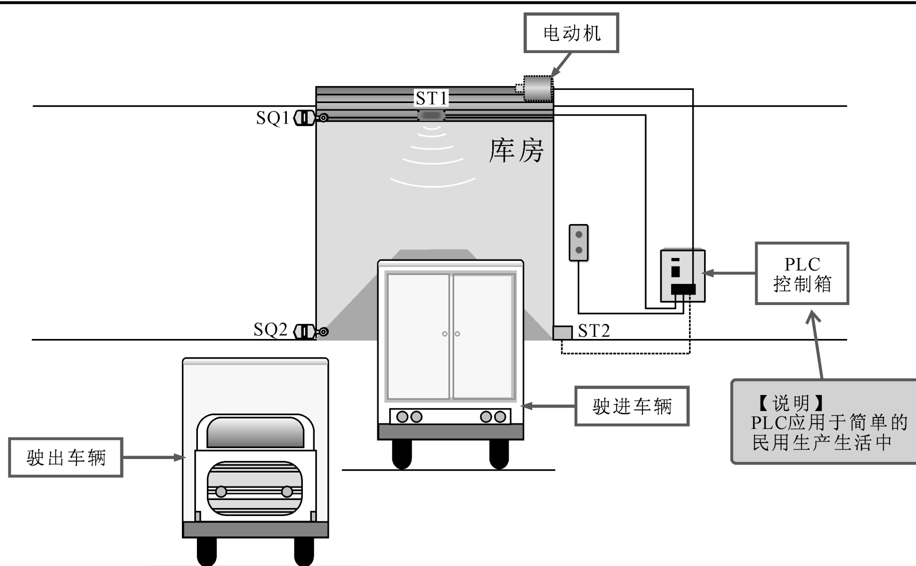


图 12-20　PLC 控制库房大门示意图



12.2.2 看看PLC的产品



目前，PLC在全世界的工业控制中被大范围采用。PLC的生产厂家不断涌现，推出的产品种类繁多，功能各具特色。其中，美国的AB公司、通用电气公司，德国的西门子公司，法国的TE公司，日本的欧姆龙、三菱、富士等公司，都是目前市场上非常主流且极具有代表性的生产厂家。目前国内也自行研制、开发、生产出许多小型PLC，应用于更多的有各类需求的自动化控制系统中。

在世界范围内（包括国内市场），西门子、三菱、欧姆龙、松下的产品占有率较高、普及应用较广，下面大致介绍这些典型PLC相关产品信息。

1. 西门子PLC

德国西门子（SIEMENS）公司的PLC系列产品在中国的推广较早，在很多的工业生产自动化控制领域，都曾有过经典的应用。从某种意义上说，西门子系列PLC决定了现代可编程序控制器发展的方向。

西门子公司为了满足用户的不同要求，推出了多种PLC产品，这里主要以西门子S7类PLC（包括S7—200系列、S7—300系列和S7—400系列）产品为例介绍。

西门子S7类PLC产品主要有PLC主机（CPU模块）、电源模块（PS）、信号模块（SM）、通信模块（CP）、功能模块（FM）、接口模块（IM）等部分，如图12-21所示。

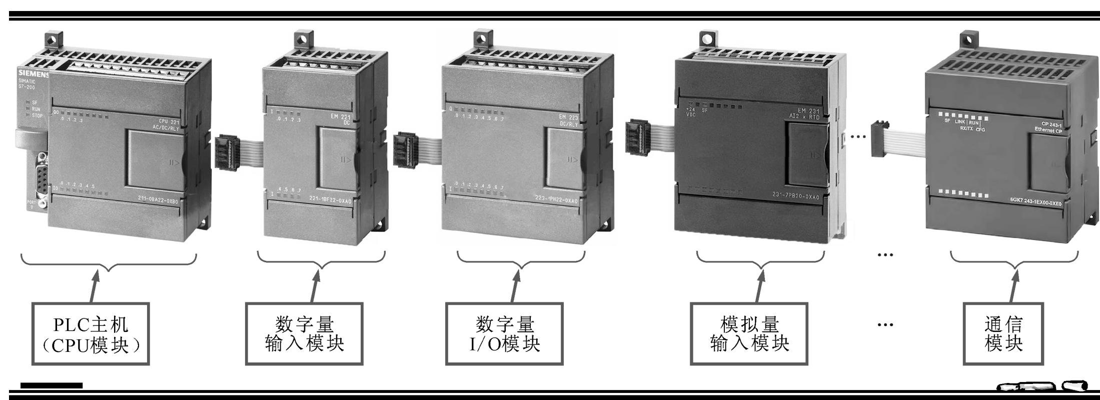


图12-21 典型西门子PLC的实物外形

（1）PLC主机

PLC的主机（又称CPU模块）是将CPU、基本输入/输出和电源等集成封装在一个独立、紧凑的设备中，从而构成了一个完整的微型PLC系统。因此，该系列的PLC主机可以单独构成一个独立的控制系统，并实现相应的控制功能。

图12-22所示为几种典型西门子PLC主机的实物外形。



【资料】

西门子S7—200系列PLC主机的CPU包括多种型号，主要有CPU221、CPU222、CPU224、CPU224XP/CPUXPsi、CPU226等几种；

西门子S7—300系列PLC常见的CPU型号主要有CPU313、CPU314、CPU315/CPU315—2DP、CPU316—2DP、CPU312IFM、CPU312C、CPU313C、CPU315F等；

西门子S7—400系列PLC常见的CPU型号主要有CPU412—1、CPU413—1/413—2、CPU414—1/414—2DP、CPU416—1等。

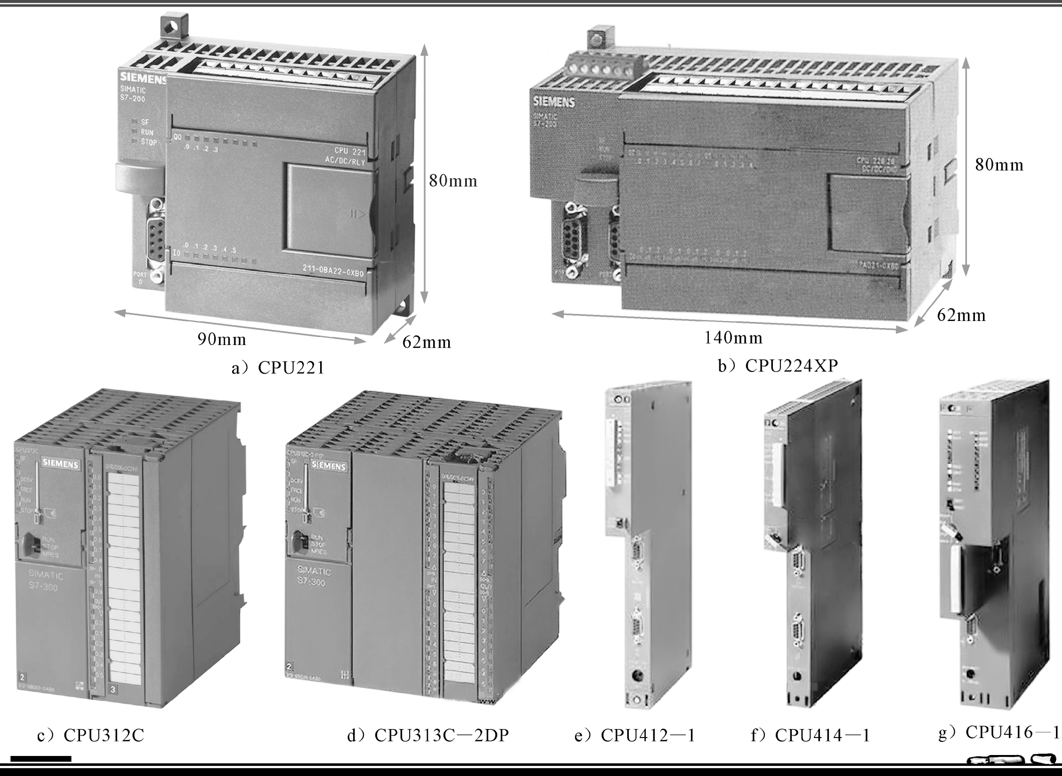


图 12-22　几种典型西门子 PLC 主机的实物外形

（2）电源模块（PS）

电源模块是指由外部为 PLC 供电的功能单元，在西门子 S7—300 系列、西门子 S7—400 系列中比较多见。图 12-23 所示为几种西门子 PLC 电源模块实物外形。

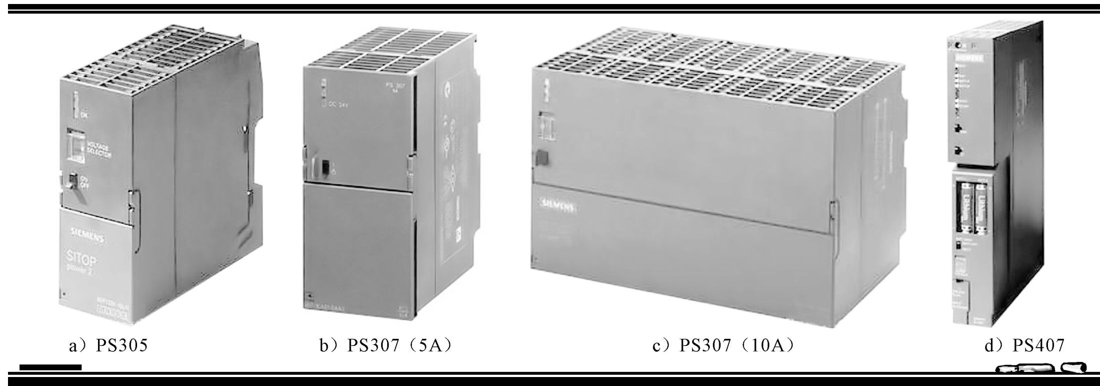


图 12-23　几种西门子 PLC 电源模块实物外形



【资料】

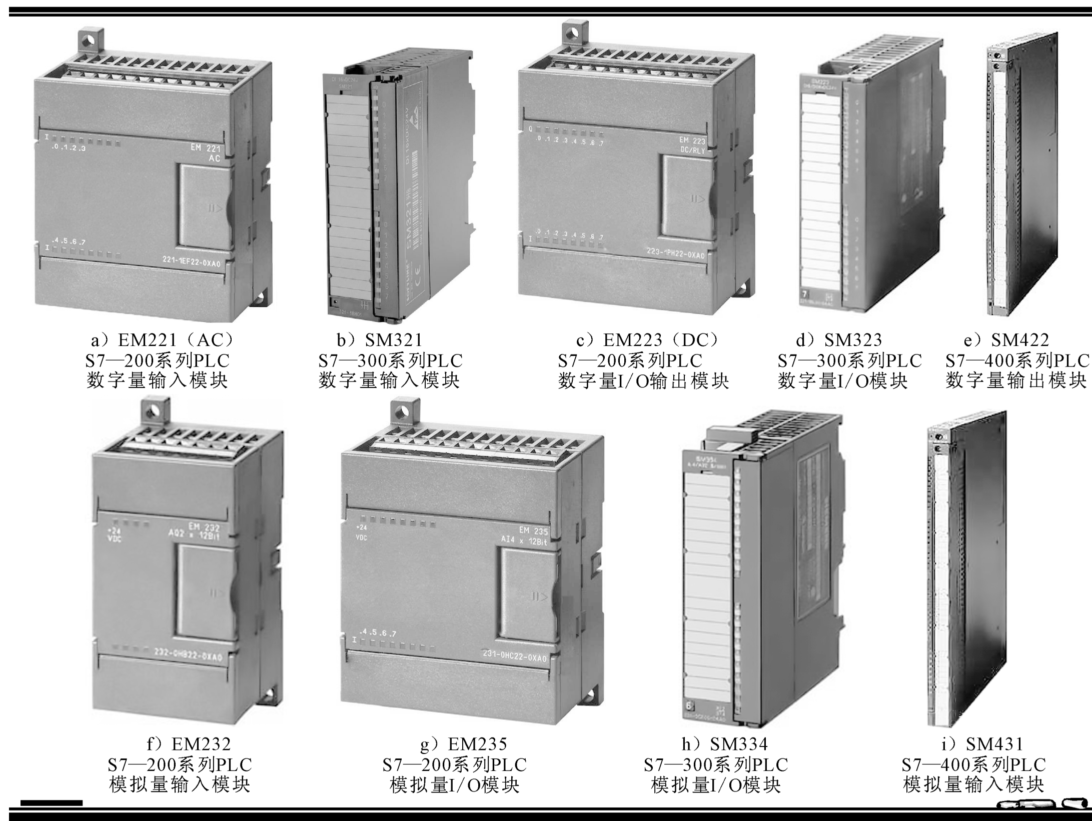
不同型号的 PLC 所采用的电源模块不相同，西门子 S7—300 系列 PLC 采用的电源模块主要有 PS305 和 PS307 两种，西门子 S7—400 系列 PLC 采用的电源模块主要有 PS405 和 PS407 两种。不同类型的电源模块，其供电方式也不相同，可根据产品附带的参数表了解。



（3）信号扩展模块

各类型的西门子 PLC 在实际应用中，为了实现更强的控制功能可以采用扩展 I/O 点的方法扩展其系统配置和控制规模，其中各种扩展用的 I/O 模块统称为信号扩展模块（SM）。不同类型的 PLC 所采用的信号扩展模块不同，但基本都包含了数字量扩展模块和模拟量扩展模块两种。

图 12-24 所示为典型数字量扩展模块和模拟量扩展模块实物外形。



a）EM221（AC） S7—200系列PLC 数字量输入模块

b）SM321 S7—300系列PLC 数字量输入模块

c）EM223（DC） S7—200系列PLC 数字量I/O输出模块

d）SM323 S7—300系列PLC 数字量I/O模块

e）SM422 S7—400系列PLC 数字量输出模块

f）EM232 S7—200系列PLC 模拟量输入模块

g）EM235 S7—200系列PLC 模拟量I/O模块

h）SM334 S7—300系列PLC 模拟量I/O模块

i）SM431 S7—400系列PLC 模拟量输入模块

图 12-24 典型数字量扩展模块和模拟量扩展模块实物外形

西门子各系列 PLC 中除本机集成的数字量 I/O 端子外，可连接数字量扩展模块（DI/DO）用以扩展更多的数字量 I/O 端子。

在 PLC 的数字系统中，不能输入和处理连续的模拟量信号，但在很多自动控制系统中，所控制的量为模拟量，因此为使 PLC 的数字系统可以处理更多的模拟量，除本机集成的模拟量 I/O 端子外，可连接模拟量扩展模块（AI/AO）用以扩展更多的模拟量 I/O 端子。

（4）通信模块（CP）

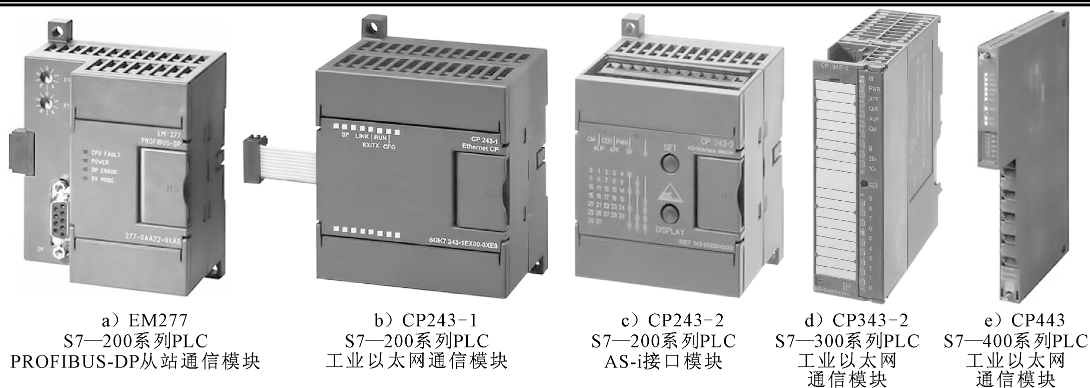
西门子 PLC 有很强的通信功能，除其 CPU 模块本身集成的通信接口外，还扩展连接通信模块，用以实现 PLC 与 PLC 之间、PLC 与计算机之间、PLC 与其他功能设备之间的通信。

图 12-25 所示为西门子 S7 系列常用的通信模块实物外形。不同型号的 PLC 可扩展不同类型或型号的通信模块，用以实现强大的通信功能。

（5）功能模块（FM）

功能模块（FM）主要用于要求较高的特殊控制任务，西门子 PLC 中常用的功能模块主要有计数器模块、进给驱动位置控制模块、步进电动机定位模块、伺服电动机定位模块、定位和连续路径控制模块、闭环控制模块、称重模块、位置输入模块和超声波位置解码器等。

图 12-26 所示为西门子 S7 系列常用的功能模块实物外形。



a）EM277
S7—200系列PLC
PROFIBUS-DP从站通信模块

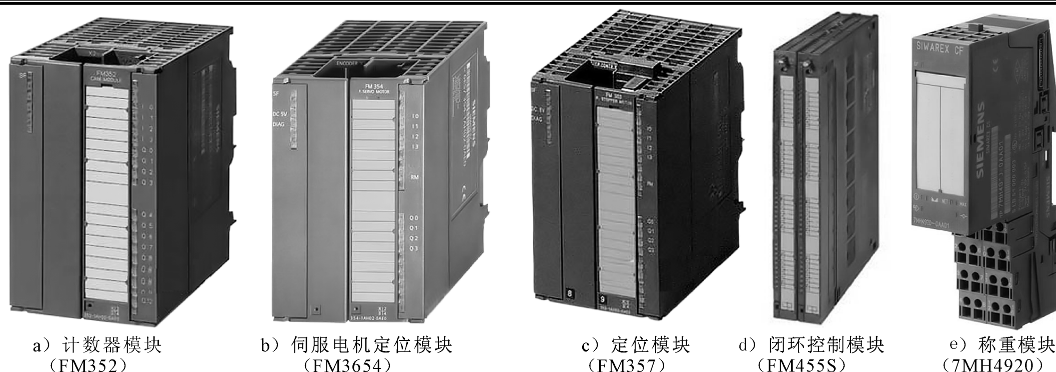
b）CP243-1
S7—200系列PLC
工业以太网通信模块

c）CP243-2
S7—200系列PLC
AS-i接口模块

d）CP343-2
S7—300系列PLC
工业以太网
通信模块

e）CP443
S7—400系列PLC
工业以太网
通信模块

图 12-25　西门子 S7 系列常用的通信模块实物外形



a）计数器模块
（FM352）

b）伺服电机定位模块
（FM3654）

c）定位模块
（FM357）

d）闭环控制模块
（FM455S）

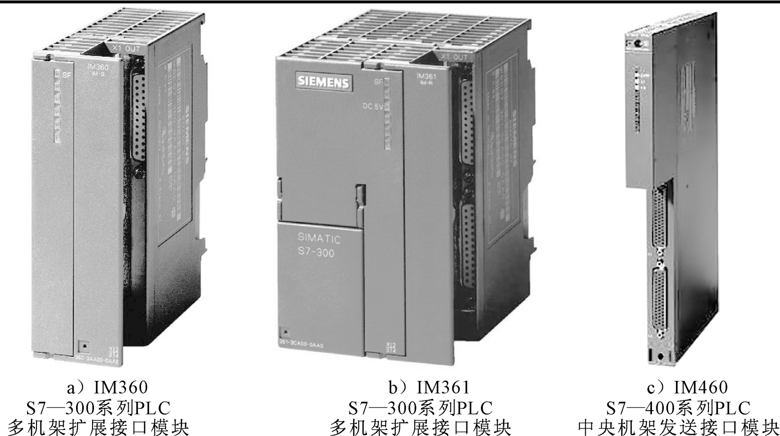
e）称重模块
（7MH4920）

图 12-26　西门子 S7 系列常用的功能模块实物外形

（6）接口模块（IM）

接口模块（IM）用于组成多机架系统时连接主机架（CR）和扩展机架（ER），多应用于西门子 S7—300/400 系列 PLC 系统中。

图 12-27 所示为西门子 S7—300/400 系列常用的接口模块实物外形。



a）IM360
S7—300系列PLC
多机架扩展接口模块

b）IM361
S7—300系列PLC
多机架扩展接口模块

c）IM460
S7—400系列PLC
中央机架发送接口模块

图 12-27　西门子 S7—300/400 系列常用的接口模块实物外形



【资料】

不同类型的接口模块功能特点和规格也不相同，各接口模块的特点及规格如表12-1所示。

表12-1 各接口模块的特点及规格

<table>
<tr><th colspan="2">PLC系列及接口模块</th><th colspan="2">特点及应用</th></tr>
<tr><td rowspan="2">S7—300</td><td>IM365</td><td colspan="2">专用于S7—300的双机架系统扩展，IM365发送接口模块安装在主机架中；IM365接收模块安装在扩展机架中，两个模块之间通过368连接电缆连接</td></tr>
<tr><td>IM360
IM361</td><td colspan="2">IM360和IM361接口模块必须配合使用，用于S7—300的多机架系统扩展。其中，IM360必须安装在主机架中；IM361安装在扩展机架中，通过368电缆连接</td></tr>
<tr><td rowspan="2">S7—400</td><td>IM460—X</td><td>用于中央机架的发送接口模块</td><td rowspan="2">IM460—0与IM461—0配合使用，属于集中式扩展，最大距离3m
IM460—1与IM461—1配合使用，属于集中式扩展，最大距离1.5m
IM460—3与IM461—3配合使用，属于分布式扩展，最大距离100m
IM460—4与IM461—4配合使用，属于分布式扩展，最大距离605m</td></tr>
<tr><td>IM461—X</td><td>用于扩展机架的接收接口模块</td></tr>
</table>

（7）其他扩展模块

西门子PLC系统中，除上述的基本组成模块和扩展模块外，还有一些其他功能的扩展模块，该类模块一般作为一系列PLC专用的扩展模块。

例如，热电偶或热敏电阻扩展模块（EM231），该模块是专门与S7—200（CPU224、CPU224XP、CPU226、CPU226XM）PLC匹配使用的，它是一种特殊的模拟量扩展模块，可以直接连接热电偶（TC）或热敏电阻（RTD）以测量温度。该温度值可通过模拟量通道直接被用户程序访问。

2. 三菱PLC

三菱公司为了满足各行各业不同的控制需求，推出了多种系列型号的PLC，如Q系列、AnS系列、QnA系列、A系列和FX系列等，如图12-28所示。

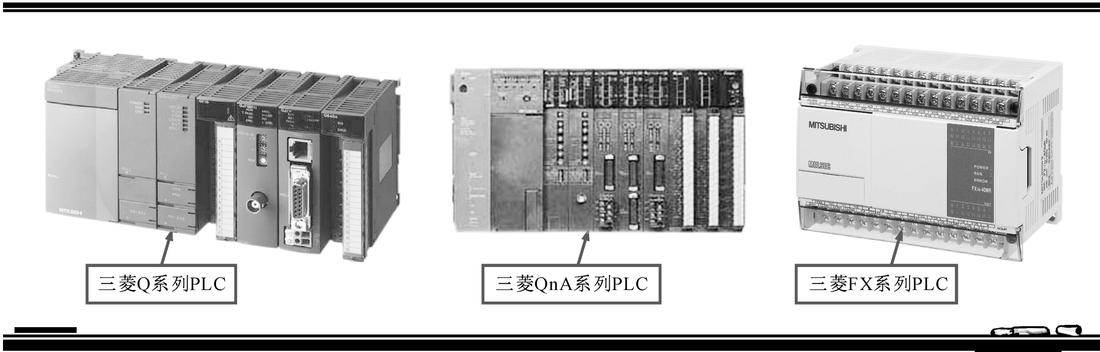


图12-28 三菱各系列型号的PLC

同样，三菱公司为了满足用户的不同要求，也在PLC主机的基础上，推出了多种PLC产品，这里主要以三菱FX系列PLC产品为例进行介绍。

三菱 FX 系列 PLC 产品中，除了 PLC 基本单元（相当于我们上述的 PLC 主机）外，还包括扩展单元、扩展模块以及特殊功能模块等，这些产品可以结合构成不同的控制系统，如图 12-29 所示。

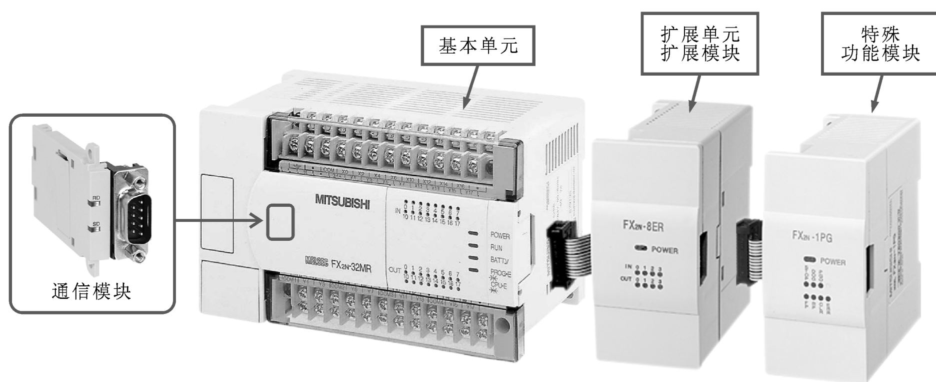


图 12-29 三菱 FX 系列 PLC 产品

（1）基本单元

三菱 PLC 的基本单元是 PLC 的控制核心，也称为主单元，主要由 CPU、存储器、输入接口、输出接口及电源等构成，是 PLC 硬件系统中的必选单元。

图 12-30 所示为三菱 FX_{2N}系列 PLC 的基本单元的实物外形。它是 FX 系列中最为先进的系列，其 I/O 点数在 256 点以内。

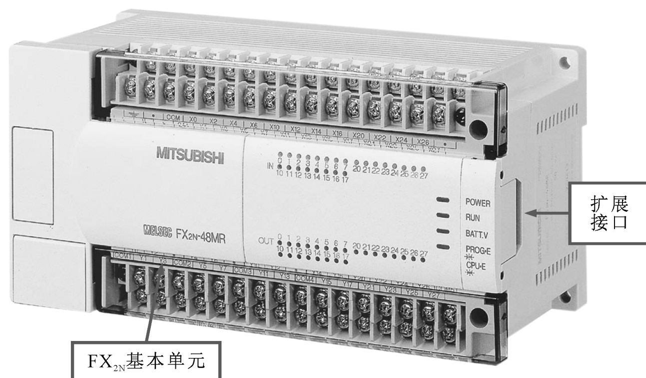


图 12-30 三菱 FX_{2N}系列 PLC 的基本单元的实物外形



【资料】

三菱 FX_{2N}系列 PLC 的基本单元主要有 25 种产品类型，每一种类型的基本单元通过 I/O 扩展单元都可扩展到 256 个 I/O 点，根据其电源类型的不同，25 种类型的 FX_{2N}系列 PLC 基本单元可分为交流电源和直流电源两大类。表 12-2 所示为三菱 FX_{2N}系列 PLC 基本单元的类型及 I/O 点数。

表 12-2　三菱 FX_{2N} 系列 PLC 基本单元的类型及 I/O 点数

AC 电源、24V 直流输入				
继电器输出	晶体管输出	晶闸管输出	输入点数	输出点数
FX_{2N}—16MR—001	FX_{2N}—16MT—001	FX_{2N}—16MS—001	8	8
FX_{2N}—32MR—001	FX_{2N}—32MT—001	FX_{2N}—32MS—001	16	16
FX_{2N}—48MR—001	FX_{2N}—48MT—001	FX_{2N}—48MS—001	24	24
FX_{2N}—64MR—001	FX_{2N}—64MT—001	FX_{2N}—64MS—001	32	32
FX_{2N}—80MR—001	FX_{2N}—80MT—001	FX_{2N}—80MS—001	40	40
FX_{2N}—128MR—001	FX_{2N}—128MT—001		64	64
DC 电源、24V 直流输入				
继电器输出	三极管输出		输入点数	输出点数
FX_{2N}—32MR—D	FX_{2N}—32MT—D		16	16
FX_{2N}—48MR—D	FX_{2N}—48MT—D		24	24
FX_{2N}—64MR—D	FX_{2N}—64MT—D		32	32
FX_{2N}—80MR—D	FX_{2N}—80MT—D		40	40

（2）扩展单元

扩展单元是一个独立的扩展设备，通常接在 PLC 基本单元的扩展接口或扩展插槽上，用于增加 PLC 的 I/O 点数及供电电流的装置，内部设有电源，但无 CPU，因此需要与基本单元同时使用。当扩展组合供电电流总容量不足时，就须在 PLC 硬件系统中增设扩展单元进行供电电流容量的扩展。图 12-31 所示为三菱 FX_{2N} 系列 PLC 的扩展单元。



图 12-31　三菱 FX_{2N} 系列 PLC 的扩展单元



【资料】

三菱 FX_{2N} 系列 PLC 的扩展单元主要有 6 种类型，根据其输出类型的不同，6 种类型的 FX_{2N} 系列 PLC 扩展单元可分为继电器输出和晶体管输出两大类。表 12-3 所示为三菱 FX_{2N} 系列 PLC 扩展单元的类型及 I/O 点数。

表 12-3　三菱 FX_{2N} 系列 PLC 扩展单元的类型及 I/O 点数

继电器输出	晶体管输出	I/O 点总数	输入点数	输出点数	输入电压	类型
FX_{2N}—32ER	FX_{2N}—32ET	32	16	16	24V 直流	漏型
FX_{2N}—48ER	FX_{2N}—48ET	48	24	24		
FX_{2N}—48ER—D	FX_{2N}—48ET—D	48	24	24		

（3）扩展模块

三菱 PLC 的扩展模块是用于增加 PLC 的 I/O 点数及改变 I/O 比例的装置，内部无电源和 CPU，因此需要与基本单元配合使用，并由基本单元或扩展单元供电，如图 12-32 所示。

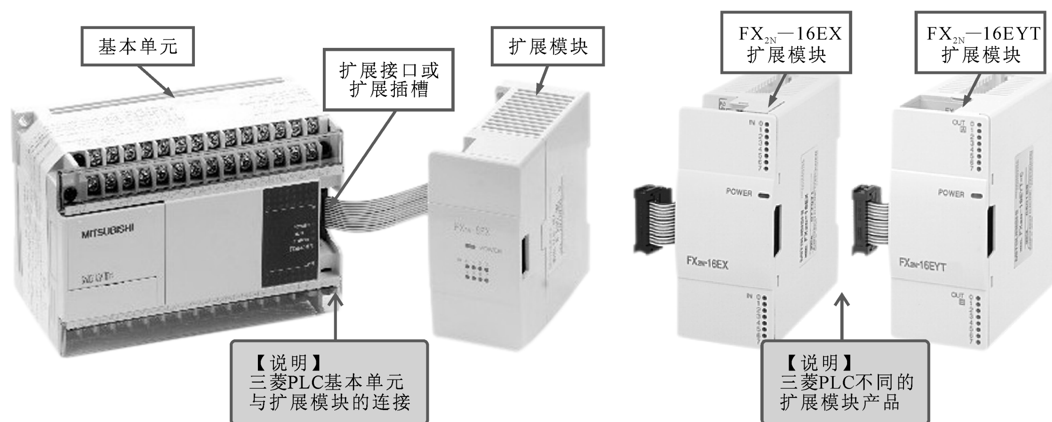


图 12-32　三菱 PLC 的扩展模块



【资料】

三菱 FX_{2N}系列 PLC 的扩展模块主要有 3 种类型，分别为 FX_{2N}—16EX、FX_{2N}—16EYT、FX_{2N}—16EYR，其各类型扩展模块的类型及 I/O 点数如表 12-4 所示。

表 12-4　三菱 FX_{2N}系列 PLC 扩展模块的类型及 I/O 点数

型号	I/O 点总数	输入点数	输出点数	输入电压	输入类型	输出类型
FX_{2N}—16EX	16	16		24V 直流	漏型	
FX_{2N}—16EYT	16		16			三极管
FX_{2N}—16EYR	16		16			继电器

（4）特殊功能模块

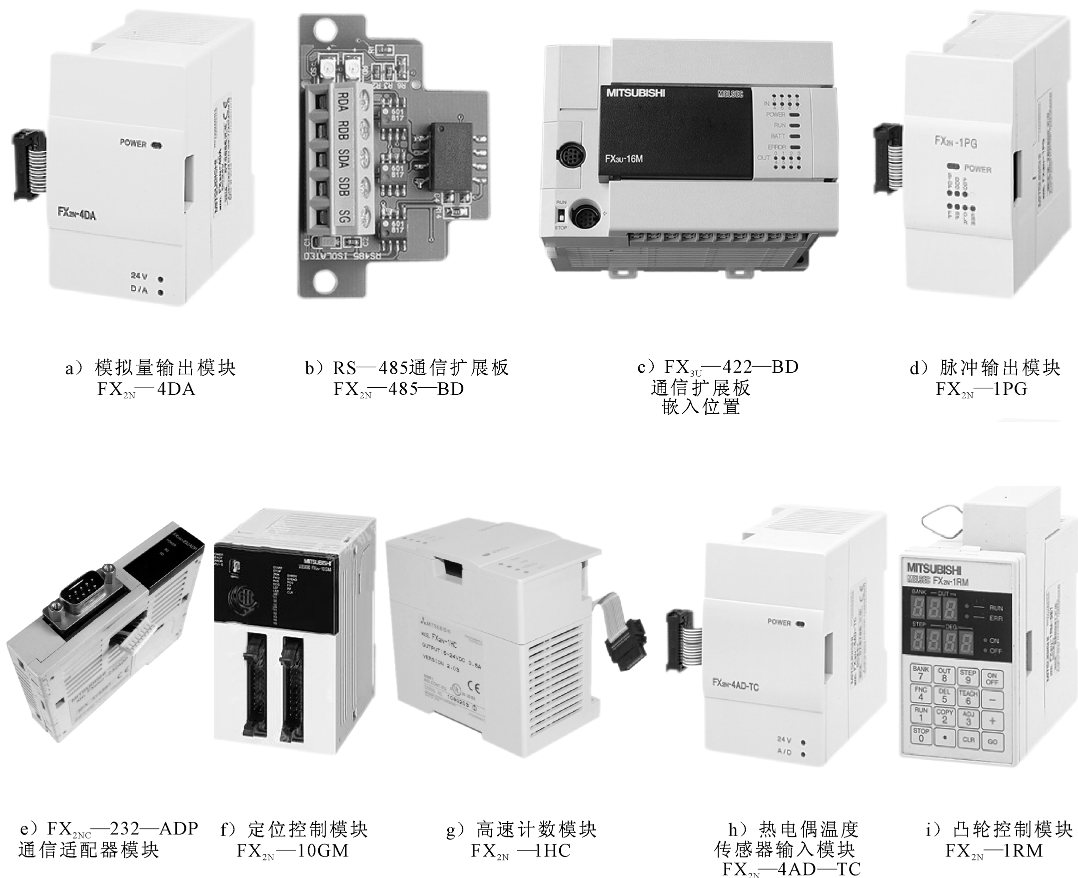
特殊功能模块是 PLC 中的一种专用的扩展模块，如模拟量 I/O 模块、通信扩展模块、温度控制模块、定位控制模块、高速计数模块、热电偶温度传感器输入模块、凸轮控制模块等。

图 12-33 所示为几种特殊功能模块产品的实物外形。可以根据实际需要有针对性的对某种特殊功能模块产品进行详细了解，这里不再一一介绍。

3. 松下 PLC

松下 PLC 是目前国内比较常见的 PLC 产品之一，其功能完善，性价比较高，图 12-34 所示为松下系列的 PLC 实物外形。松下 PLC 可分为小型的 FP-X、FP0、FP1、FPΣ、FP-e 系列产品；中型的 FP2、FP2SH、FP3 系列；大型的 EP5 系列等。





a）模拟量输出模块 FX_{2N}—4DA　b）RS—485通信扩展板 FX_{2N}—485—BD　c）FX_{3U}—422—BD通信扩展板嵌入位置　d）脉冲输出模块 FX_{2N}—1PG

e）FX_{2NC}—232—ADP通信适配器模块　f）定位控制模块 FX_{2N}—10GM　g）高速计数模块 FX_{2N}—1HC　h）热电偶温度传感器输入模块 FX_{2N}—4AD—TC　i）凸轮控制模块 FX_{2N}—1RM

图 12-33　几种特殊功能模块产品的实物外形

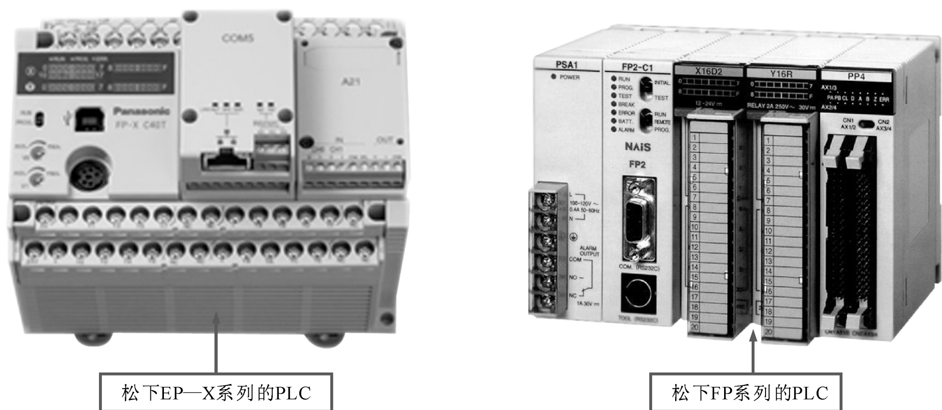


图 12-34　松下系列的 PLC 实物外形


【资料】

松下 PLC 的主要功能特点。

● 具有超高速处理功能，处理基本指令只需 0.32μs，还可快速扫描。程序容量大，容量可达到 32k 步。

● 具有广泛的扩展性，I/O 最多为 300 点。还可通过功能扩展插件、扩展 FPO 适配器，使扩展范围更进一步扩大。

● 可靠性和安全性可以保证，8 位密码保护和禁止上传功能，可以有效的保护系统程序。

● 通过普通 USB 电缆线（AB 型）即可与计算机实现连接。

● 部分产品具有指令系统，功能十分强大。

● 部分产品采用了可以识别 FP—BASIC 语言的 CPU 及多种智能模块，可以设计十分复杂的控制系统。

● FP 系列都配置通信机制，并且使用的应用层通信协议具有一致性，可以设计多级 PLC 网络控制系统。

4. 欧姆龙 PLC

日本欧姆龙（OMRON）公司的 PLC 较早进入中国市场，开发了最大的 I/O 点数在 140 点以下的 C20P、C20 等微型 PLC；最大 I/O 点数在 2048 点的 C2000H 等大型 PLC，图 12-35 所示为欧姆龙的 PLC 产品实物外形图，该公司产品被广泛用于自动化系统设计的产品中。

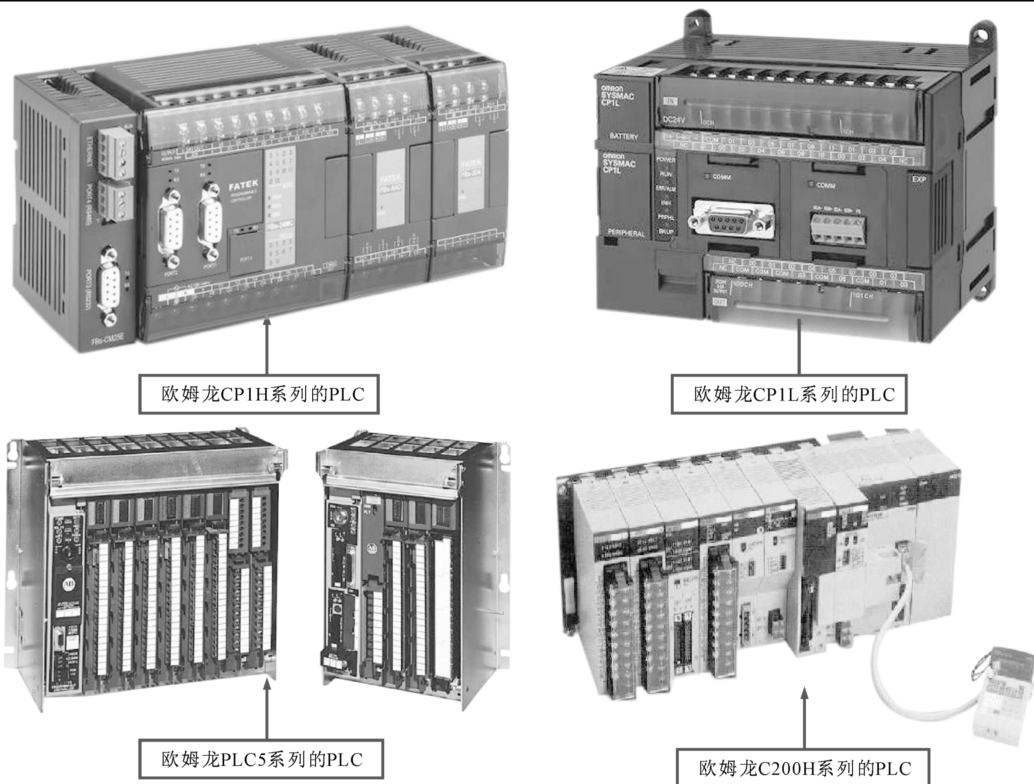


图 12-35　欧姆龙的 PLC 产品实物外形





【资料】

欧姆龙公司对可编程控制器及其软件的开发有自己的特殊风格。例如，C2000H 大型 PLC 是将系统存储器、用户存储器、数据存储器和实际的输入输出接口、功能模块等，统一按绝对地址形式组成系统。它把数据存储和电器控制使用的术语合二为一，命名数据区为 I/O 继电器、内部负载继电器、保持继电器、专用继电器、定时器/计数器。

第13章 通过案例搞清楚PLC的更多应用



现在我们开始学习第 13 章，这一章我们主要通过一些实际案例，进一步了解 PLC 的具体应用。希望大家通过本章的学习能够更加深入理解 PLC 如何应用、它的应用范围及特点等。好了，很多有趣的案例等着我们钻研，让我们开始吧！

13.1 应用 PLC 如何实现三相交流电动机的连续控制





PLC 控制的加入使得三相交流电动机连续控制系统大大简化，作为核心的控制部件，电动机连续控制系统中的动作都是由 PLC 内部程序控制的，工作时，通过 PLC 内部程序即可实现对整个电动机连续控制系统的自动控制。

13.1.1 先看看应用 PLC 的三相交流电动机连续控制电路



三相交流电动机的连续控制是指按下电动机起动键后再松开，控制电路仍保持接通状态，电动机能够继续正常运转；在运转状态按下停机键，电动机停止运转，松开停机键，复位后，电动机仍处于停机状态，上述这种的控制方式，也称为自锁控制。

图 13-1 为三相交流电动机的 PLC 连续控制电路原理图。

由图 13-1 可知，整个电路主要由 PLC、与 PLC 输入接口连接的控制部件（FR1、SB1 ~ SB2）、与 PLC 输出接口连接的执行部件（KM、RL、GL）、总断路器 QF、过热保护继电器、三相交流电动机等构成。

基本电气部件的功能和控制关系在前面的章节中已经具体介绍，这里重点介绍 PLC 在该电路中的应用特点。

在图 13-1 所示电路中，采用的是三菱 FX_{2N}—32MR 型 PLC，外部的控制部件和执行部件都是通过 PLC 预留的 I/O 接口连接到 PLC 上的，各部件之间没有复杂的连接关系。

1. PLC 的 I/O 分配表

控制部件和执行部件分别连接到 PLC 相应的 I/O 接口上，它是根据 PLC 控制系统设计之初建立的 I/O 分配表进行连接分配的，其所连接接口名称也将对应于 PLC 内部程序的编程地址编号。由 PLC 控制的三相交流电动机连续控制系统的 I/O 分配表如表 13-1 所示。

表 13-1 三相交流感应电动机三菱 FX_{2N} 系列 PLC 控制 I/O 分配表

输入信号及地址编号			输出信号及地址编号		
名称	代号	输入点地址编号	名称	代号	输出点地址编号
过热保护继电器	FR1	X0	交流接触器	KM	Y0
起动键	SB1	X1	运行指示灯	RL	Y1
停机键	SB2	X2	停机指示灯	GL	Y2

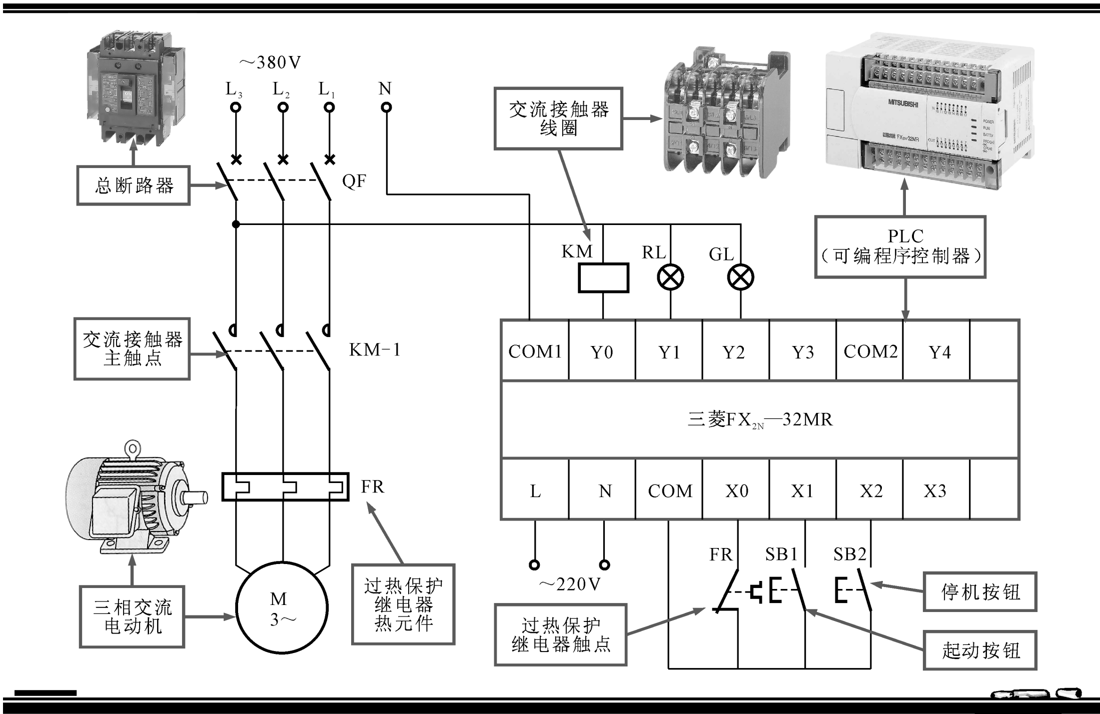


图 13-1　三相交流电动机的 PLC 连续控制电路原理图

2. PLC 内的梯形图程序

PLC 的 I/O 接口与外部电器部件进行连接，提高了系统的可靠性，并能够有效的降低故障率，维护方便。当使用编程软件向 PLC 中写入的控制程序，便可以实现外接电器部件及负载电动机等设备的自动控制了。想要改动控制方式时，只需要修改 PLC 中的控制程序即可，大大提高调试和改装效率。

上述控制电路中 PLC 内的控制程序称为 PLC 梯形图，如图 13-2 所示。为了方便读者了解，在梯形图各编程元件下方标注了其对应在传统控制系统中相应的按钮、交流接触器的触点、线圈等字母标识。

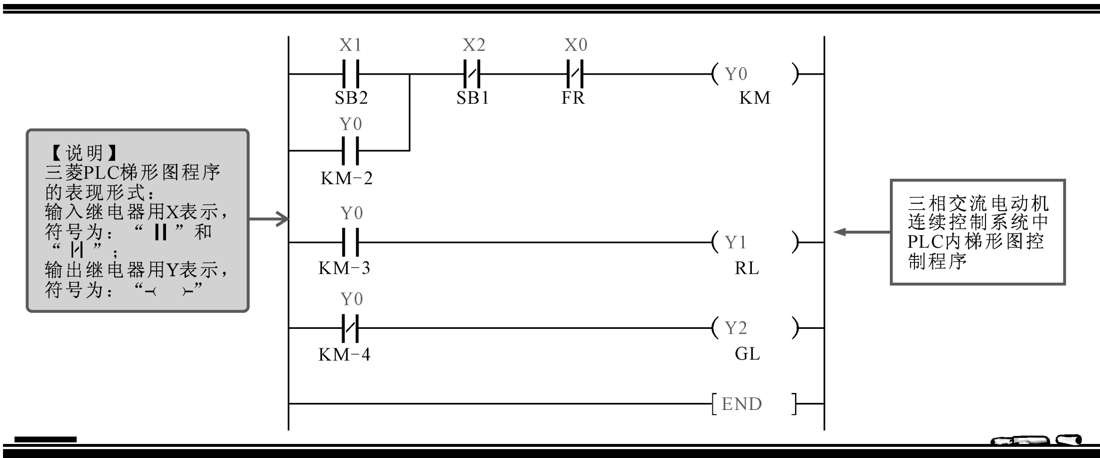


图 13-2　三相交流感应电动机使用三菱 FX_{2N}系列 PLC 连续控制梯形图

13.1.2 搞清楚 PLC 是如何做到对三相交流电动机进行连续控制的

在三相交流电动机的 PLC 连续控制系统中，PLC 作为核心的控制部件，控制着电动机控制系统中的所有动作。

工作时，当 PLC 输入接口外接控制部件输入控制信号时，由 PLC 内部微处理器识别该控制信号，然后通过调用其内部用户程序，控制其输出接口外接的执行部件动作，使控制系统主电路中实现相应动作，由此控制电动机实现相应的自动控制功能。

下面就结合 PLC 内部用户梯形图程序具体分析 PLC 是如何做到对三相交流电动机进行连续控制的。

1. PLC 控制下三相交流电动机的起动控制过程

图 13-3 所示为 PLC 控制下三相交流电动机的起动控制过程。首先闭合总断路器 QF，然后按下起动按钮 SB1。

起动按钮 SB1 为 PLC 输入开关量信号，经 PLC 输入接口端子 X1 后，送入其内部，由 CPU 识别该开关量信号后，使用户梯形图程序中相应编程元件动作，并将处理结果经 PLC 输出端子 Y0、Y1、Y2 后输出，控制外部执行部件动作，继而控制电动机 M 起动。

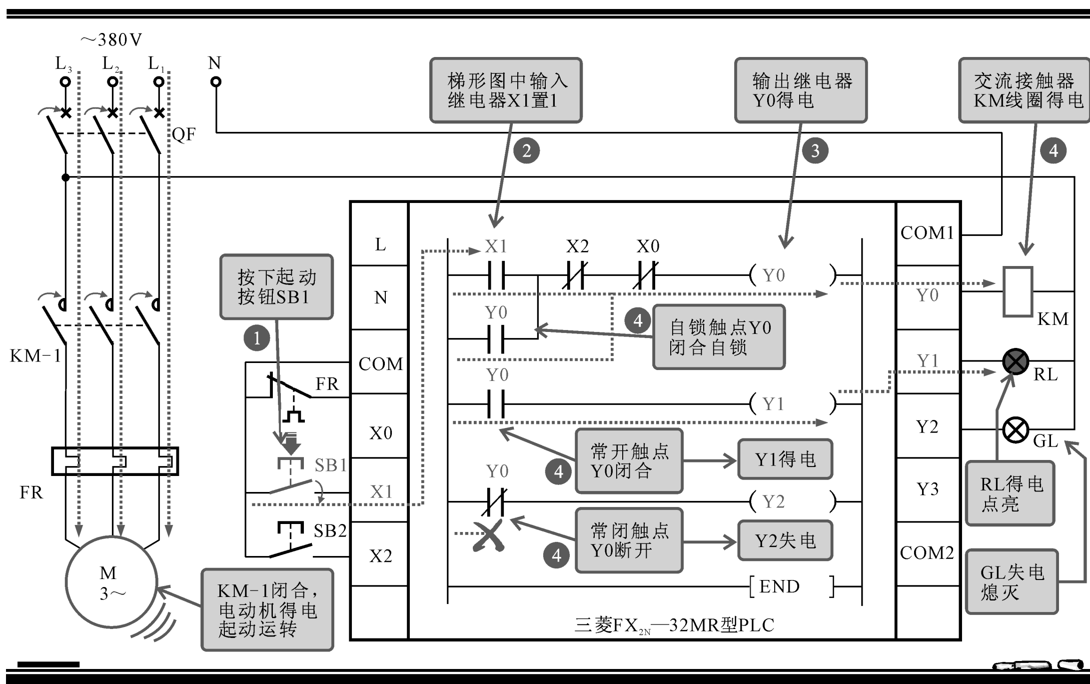


图 13-3 PLC 控制下三相交流电动机的起动控制过程

该控制线路中电动机的起动控制过程如下：

① 按下电动机 M 的起动按钮 SB1；

①→② 将 PLC 程序中输入继电器常开触点 X1 置“1”，即常开触点 X1 闭合；

②→③ 输出继电器 Y0 得电；

→④ 控制 PLC 外接交流接触器 KM 线圈得电，主电路中的主触点 KM-1 闭合，接通电动机 M 电源，电动机 M 起动运转；

→④ 常开触点 Y0（KM-2）闭合实现自锁功能，即使松开起动按钮，Y0 仍保持得电状态；



→④ 控制输出继电器 Y1 的常开触点 Y0（KM-3）闭合，输出继电器 Y1 得电，运行指示灯 RL 点亮；

→④ 控制输出继电器 Y2 的常闭触点 Y0（KM-4）断开，输出继电器 Y2 失电，停机指示灯 GL 熄灭。

2. PLC 控制下三相交流电动机的停机控制过程

图 13-4 所示为 PLC 控制下三相交流电动机的停机控制过程。按下电动机的停机按钮 SB2。

停机按钮 SB2 为 PLC 输入开关量信号，经 PLC 输入接口端子 X2 后，送入其内部，由 CPU 识别该开关量信号后，使用户梯形图程序中相应编程元件动作，并将处理结果经 PLC 输出端子 Y0、Y1、Y2 后输出，控制外部执行部件动作，继而控制电动机 M 停机。

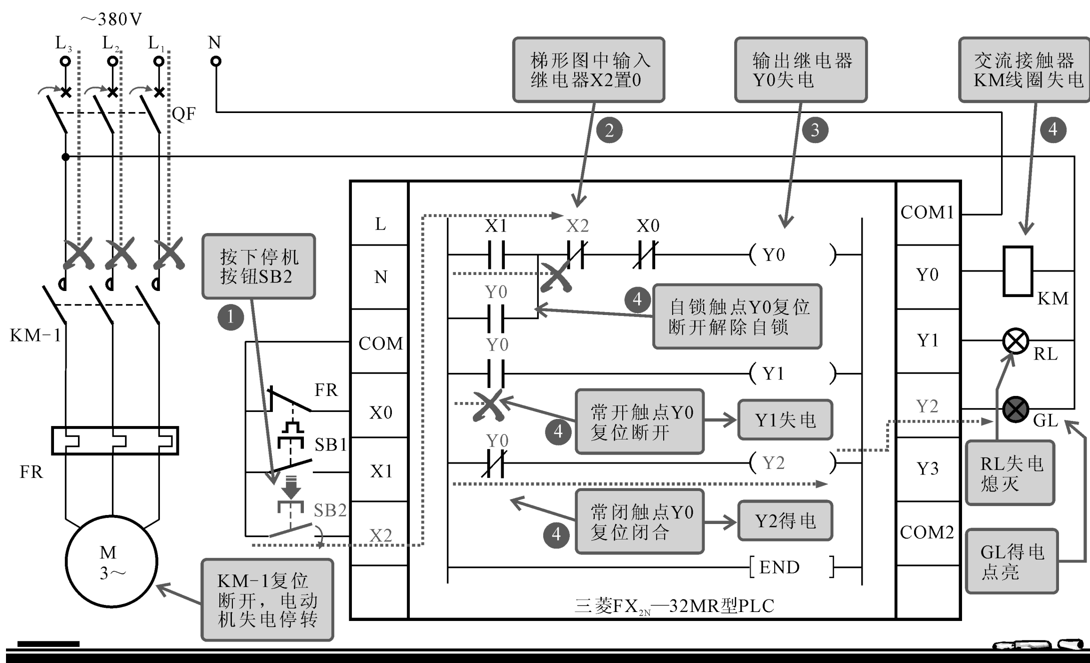


图 13-4　PLC 控制下三相交流电动机的停机控制过程

该控制线路中电动机的停机控制过程如下：

① 按下电动机 M 的停机动按钮 SB2；

①→② 将 PLC 内的 X2 置“0”，即该触点断开，即常闭触点 X2 断开；

②→③ 输出继电器 Y0 失电；

④ 控制 PLC 外接交流接触器 KM 线圈失电，主电路中的主触点 KM-1 复位断开，切断电动机 M 电源，电动机 M 停止运转；

④ 常开、常闭触点 Y0（KM-2、KM-3、KM-4）也同时复位，Y1 失电，Y2 得电，运行指示灯 RL 熄灭，停机指示灯 GL 点亮。

13. 2　应用 PLC 如何实现三相交流电动机的减压起动控制





PLC 作为核心的控制部件，在三相交流电动机的减压起动控制系统中，各功能部件的动作都是由 PLC 内部程序控制的。工作时，通过 PLC 内部程序即可实现对整个电动机减压起动控制系统的自动控制。

13.2.1 先看看应用 PLC 的三相交流电动机减压起动控制电路



图 13-5 为三相交流电动机的 PLC 减压起动控制电路原理图。这是以定子串电阻减压起动的方式。

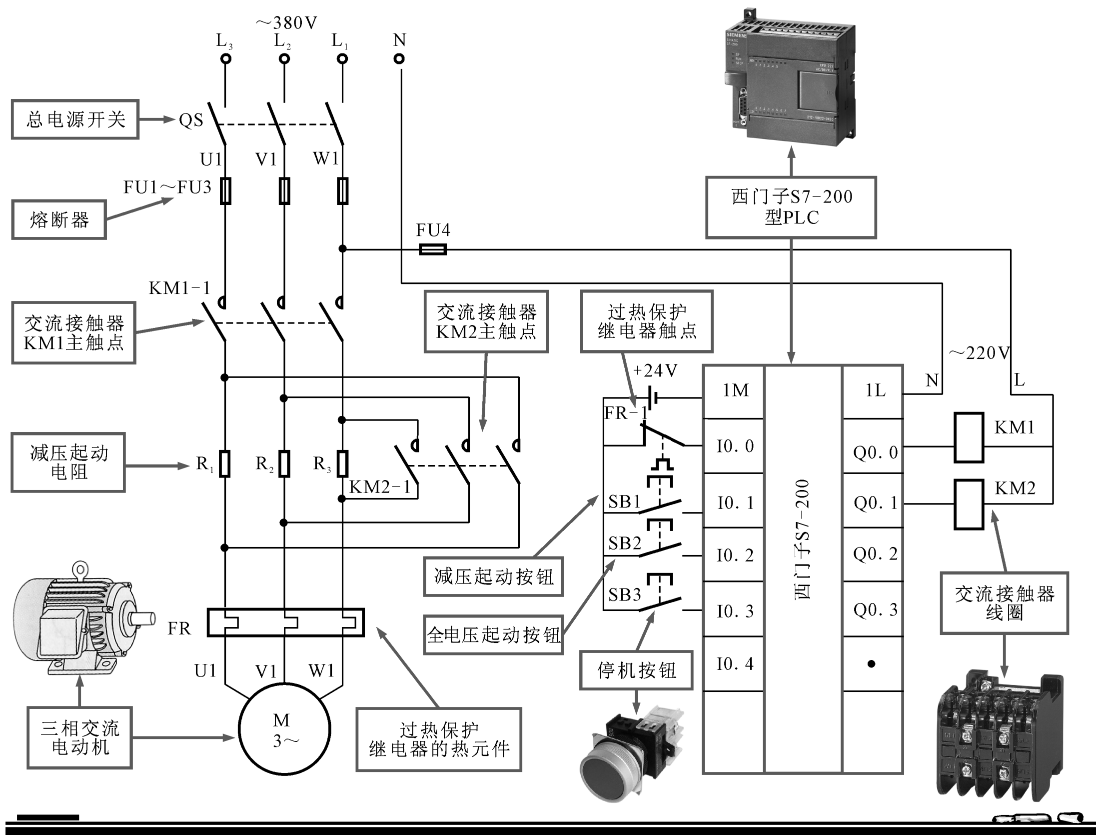


图 13-5 三相交流电动机的 PLC 减压起动控制电路原理图

由图 13-5 可以看到，整个电路主要由 PLC、与 PLC 输入接口连接的控制部件（FR1、SB1 ~ SB3）、与 PLC 输出接口连接的执行部件（KM1、KM2）、电源总开关 QF、熔断器（FU1 ~ FU4）、减压起动电阻（R_1 ~ R_3）、过热保护继电器 FR 及三相交流电动机等构成。

在图 13-5 电路中，采用的是西门子 S7—200 型 PLC，外部的控制部件和执行部件都是通过 PLC 预留的 I/O 接口连接到 PLC 上的，各部件之间没有复杂的连接关系。



【注意】

所谓减压起动，是指在电动机起动时，加在定子绕组上的电压小于额定电压，当电动机起动后，再将在定子绕组上的电压升至额定电压，从而大大减小了起动电流的起动方式。

1. PLC 的 I/O 分配表

控制部件和执行部件分别连接到 PLC 相应的 I/O 接口上，它是根据 PLC 控制系统设计之初建立的 I/O 分配表进行连接分配的，其所连接接口名称也将对应于 PLC 内部程序的编程地址编号。由西门子 S7-200 型 PLC 控制的三相交流电动机连续控制系统的 I/O 分配表如表 13-2 所示。



表 13-2　三相交流感应电动机减压起动的西门子 S7—200 型 PLC 控制 I/O 分配表

输入信号及地址编号			输出信号及地址编号		
名称	代号	输入点地址编号	名称	代号	输出点地址编号
过热保护继电器	FR1	I0.0	减压起动接触器	KM1	Q0.0
减压起动按钮	SB1	I0.2	全电压起动接触器	KM2	Q0.1
全电压起动按钮	SB2	I0.3			
停机按钮	SB3	I0.4			

2. PLC 内的梯形图程序

使用编程软件向 PLC 中写入的三相交流电动机的减压起动控制程序，便可以实现外接电器部件及负载电动机等设备的自动控制。

上述控制电路中 PLC 内的控制程序称为 PLC 梯形图，图 13-6 所示。为了方便读者了解，我们在梯形图各编程元件下方标注了其对应在传统控制系统中相应的按钮、交流接触器的触点、线圈等字母标识。

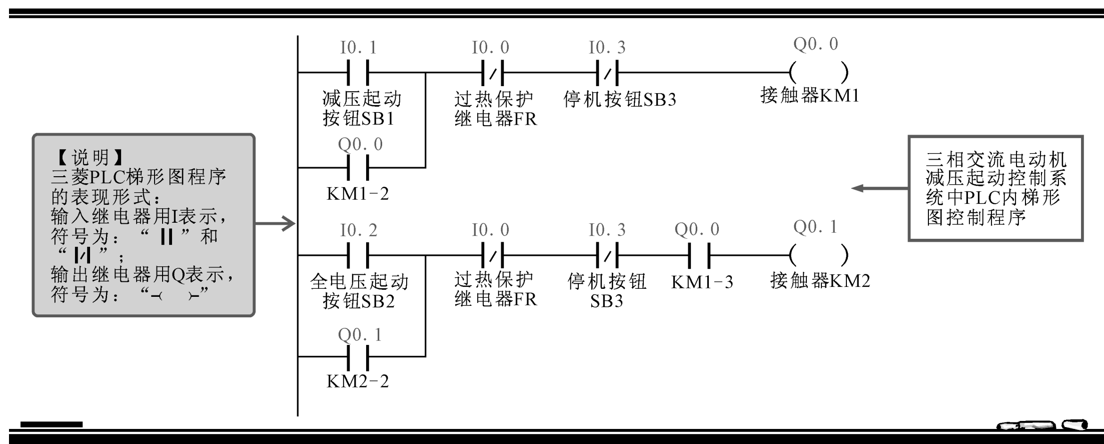


图 13-6　三相交流感应电动机西门子 S7-200 型 PLC 减压起动控制梯形图

13.2.2　搞清楚 PLC 是如何做到对三相交流电动机进行减压起动控制的



在三相交流电动机的 PLC 减压起动控制系统中，当 PLC 输入接口外接控制部件输入控制信号时，由 PLC 内部微处理器识别该控制信号，然后通过调用其内部用户程序，控制其输出接口外接的执行部件动作，使控制系统主电路中实现相应动作，由此控制电动机实现减压起动控制功能。

下面就结合 PLC 内部用户梯形图程序具体分析 PLC 是如何做到对三相交流电动机进行减压起动控制的。

1. PLC 控制下三相交流感应电动机的减压起动过程

图 13-7 所示为 PLC 控制下三相交流感应电动机的减压起动过程。

具体过程如下：

① 按下减压起动按钮 SB1；

①→② 将 PLC 内的 I0.1 置“1”，即该触点接通；

②→③ 输出继电器 Q0.0 得电；

→④ 控制 PLC 外接交流接触器 KM1 线圈得电，常开主触点 KM1-1 闭合，电流经电阻 R_1 ~ R_3 减压后，为电动机供电，使得电动机在减压情况下起动运转；

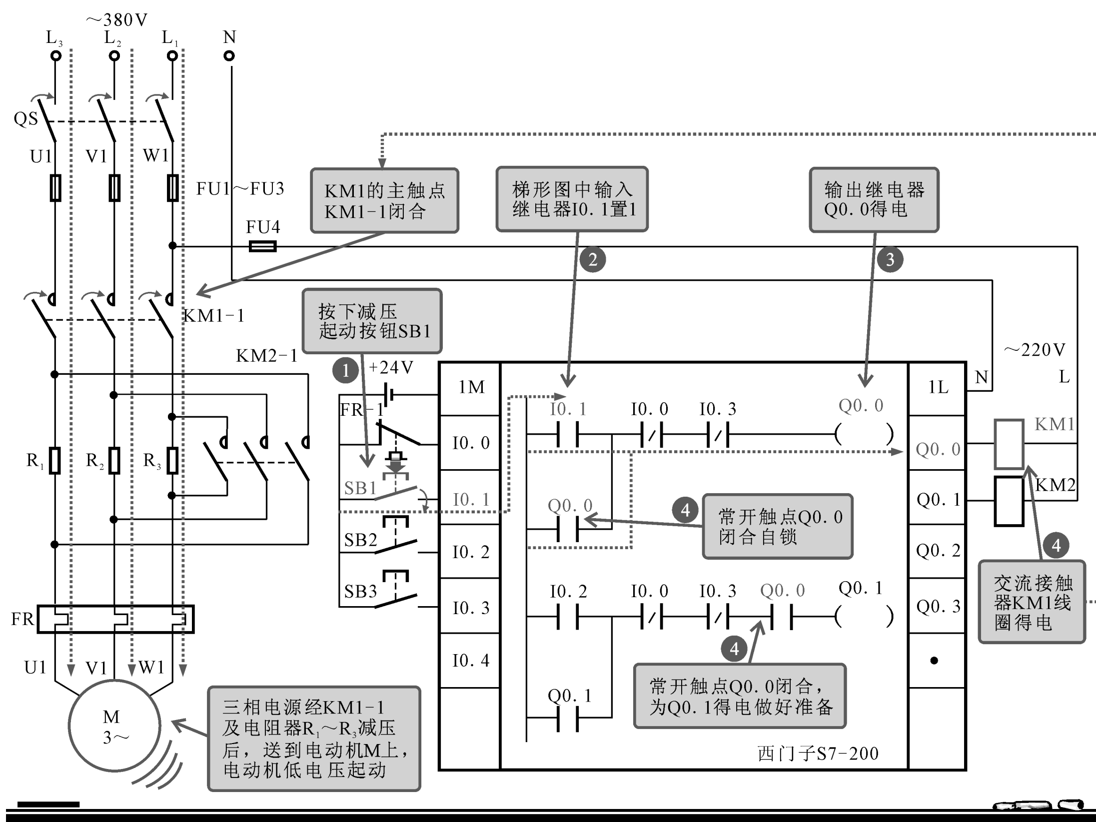


图 13-7　PLC 控制下三相交流感应电动机的减压起动过程

→④ 自锁触点 Q0.0 闭合自锁；Q0.1 线路上的常开触点 Q0.0 闭合，为 Y1 的得电做好准备，即为全电压起动做好准备。

2. PLC 控制下三相交流感应电动机的全电压起动过程

图 13-8 所示为 PLC 控制下三相交流感应电动机的全电压起动过程。

具体过程如下：

① 按下全电压起动按钮 SB2；

①→② 将 PLC 内的 I0.2 置“1”，即该触点接通；

②→③ 输出继电器 Q0.1 得电；

→④ 控制 PLC 外接交流接触器线圈 KM2 得电，常开触点 KM2-1 闭合，此时起动电阻 R_1 ~ R_3 被短接，电流经接触器常开触点 KM1-1、KM2-1，过热保护继电器 FR1 后，为电动机进行全电压供电；

→④ 常开触点 Q0.1 闭合自锁，即使松开 SB2，电动机仍继续在全电压状态下运行。



【注意】

采用全电压起动方式时，电动机定子绕组所加的电压为电动机的额定电压。

3. PLC 控制下三相交流感应电动机的停止过程

PLC 控制下三相交流感应电动机的停止过程比较简单：



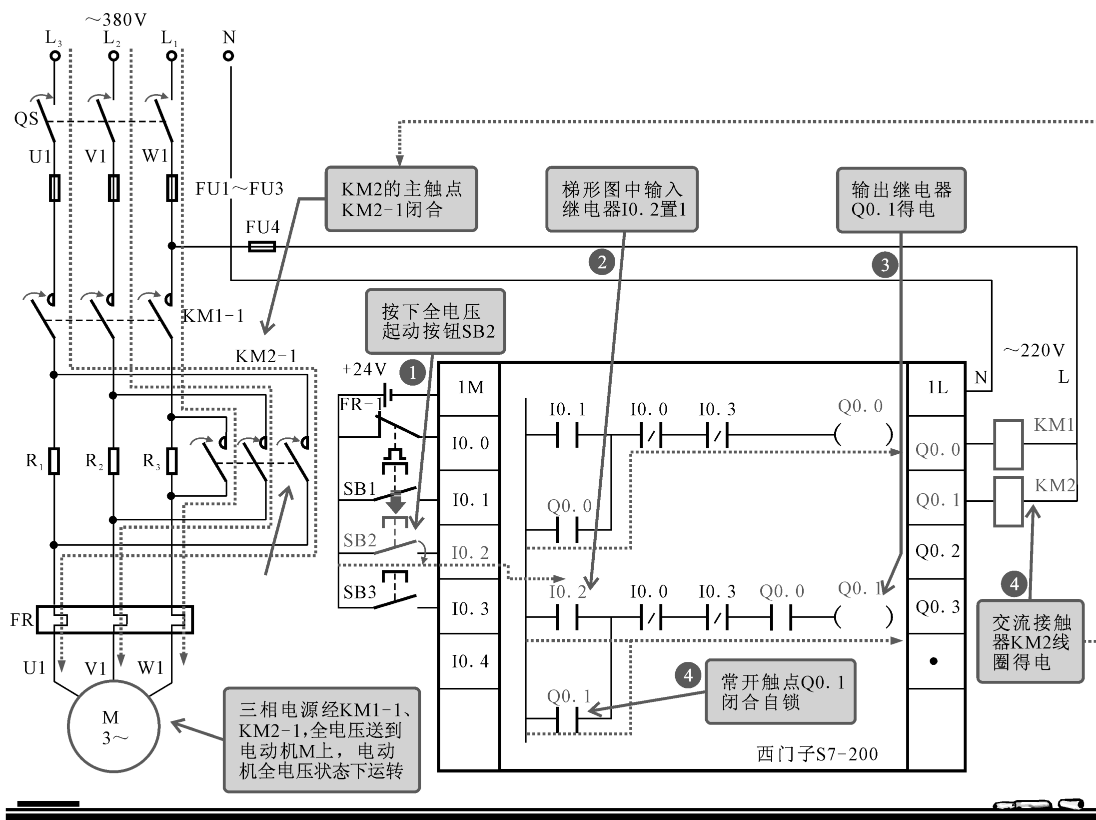


图 13-8　PLC 控制下三相交流感应电动机的全电压起动过程

当按下停机按钮 SB3 时，其将 PLC 内的 I0. 3 置“0”，即该触点断开，使得 Q0. 0、Q0. 1 失电，常开触点 Q0. 0、Q0. 1 复位断开，接触自锁。PLC 外接交流接触器线圈 KM1、KM2 失电，主电路中的主触点 KM1-1、KM2-1 复位断开，切断电动机电源，电动机停止运转。

13. 3　C620—1 型卧式车床的 PLC 控制是如何实现的





在 PLC 应用范围内，车床设备是一种应用 PLC 控制来实现电气功能的主要设置之一。这里，我们以一种比较简单的 C620—1 型卧式车床的 PLC 控制为例，简单了解 PLC 在该类设备中的应用特点。

13. 3. 1　先看看 C620—1 型卧式车床的结构



在弄清 C620—1 型卧式车床的 PLC 控制过程之前，首先了解这种车床的基本结构，搞清楚它的电气功能，为后面分析其 PLC 控制关系做好铺垫。

C620—1 型卧式车床是一种典型的机床设备，其主要是由变换齿、主轴变速箱、刀架、尾座、丝杆、光杆等部分组成，如图 13-9 所示。

该机床设备中，刀架的纵向或横向直线运动是车床的进给运动，其传动线路是由主轴电动机经过主轴箱输出轴、挂轮箱传动到进给箱，进给箱通过丝杆将运动传入溜板箱，再通过溜板箱的齿轮与床身上的齿条或通过刀架下面的光杆分别获得纵横两个方向的进给运动。主运动和进给运动都是由主电动机带动的。

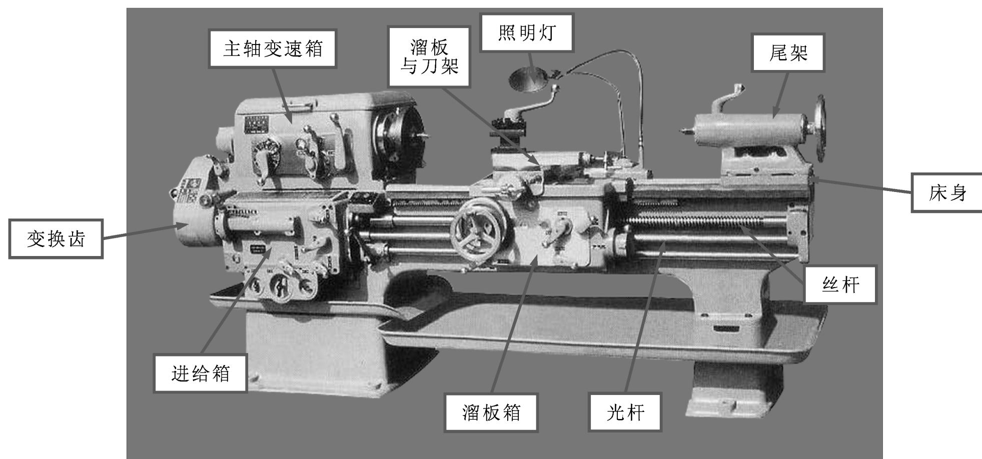


图 13-9　C620—1 型卧式车床的基本外形结构

主电动机一般选用三相异步电动机，通常不采用电气调速而是通过变速箱进行机械调速。其起动、停止采用按钮操作，并采用直接起动方式。

车削加工时，需要冷却液冷却工件，因此必须有冷却泵和驱动电动机。当主电动机停止时，冷却泵电动机也停止工作。主轴电动机和冷却泵电动机的驱动控制电路中应设有短路和过载保护部分，当任何一台电动机发生过载故障时，两台电动机都不能工作。

13.3.2　搞清楚 PLC 是如何做到对 C620—1 型卧式车床进行连续控制的



了解了 C620—1 型卧式车床的基本结构和相应电气功能后，下面就具体看看 PLC 在该车床设备控制系统中的应用特点，弄清楚它是如何对这种设备进行连续控制的。

1. 应用 PLC 的 C620—1 型卧式车床连续控制电路

图 13-10 所示为应用 PLC 的 C620—1 型卧式车床连续控制电路。

由图 13-10 可知看到，该机床设备的控制电路主要由 PLC、与 PLC 输入接口连接的控制部件（FR1、SB1 ~ SB2）、与 PLC 输出接口连接的执行部件（KM1、KM2）、电源总开关 QF、熔断器（FU1 ~ FU7）、转换开关 SA1、照明开关 SA2、灯座开关 SA3、照明变压器 T、照明灯 EL、过热保护继电器（FR1、FR2）及三相交流电动机 M_1、M_2 等构成。

在该 PLC 控制电路中，采用的是三菱 FX_{2N} 系列 PLC，外部的控制部件和执行部件都是通过 PLC 预留的 I/O 接口连接到 PLC 上的，各部件之间没有复杂的连接关系。

（1）PLC 的 I/O 分配表

控制部件和执行部件分别连接到 PLC 相应的 I/O 接口上，它是根据 PLC 控制系统设计之初建立的 I/O 分配表进行连接分配的，其所连接接口名称也将对应于 PLC 内部程序的编程地址编号。由三菱 FX_{2N} 系列 PLC 控制的 C620—1 型卧式车床连续控制系统的 I/O 分配表如表 13-3 所示。

表 13-3　C620—1 型车床三菱 FX_{2N} 系列 PLC 控制 I/O 分配表

输入信号及地址编号			输出信号及地址编号		
名称	代号	输入点地址编号	名称	代号	输出点地址编号
过热保护继电器	FR1、FR2	X0	主轴电动机接触器	KM1	Y1
主轴电动机起动按钮	SB1	X1			
主轴电动机停止按钮	SB2	X2			



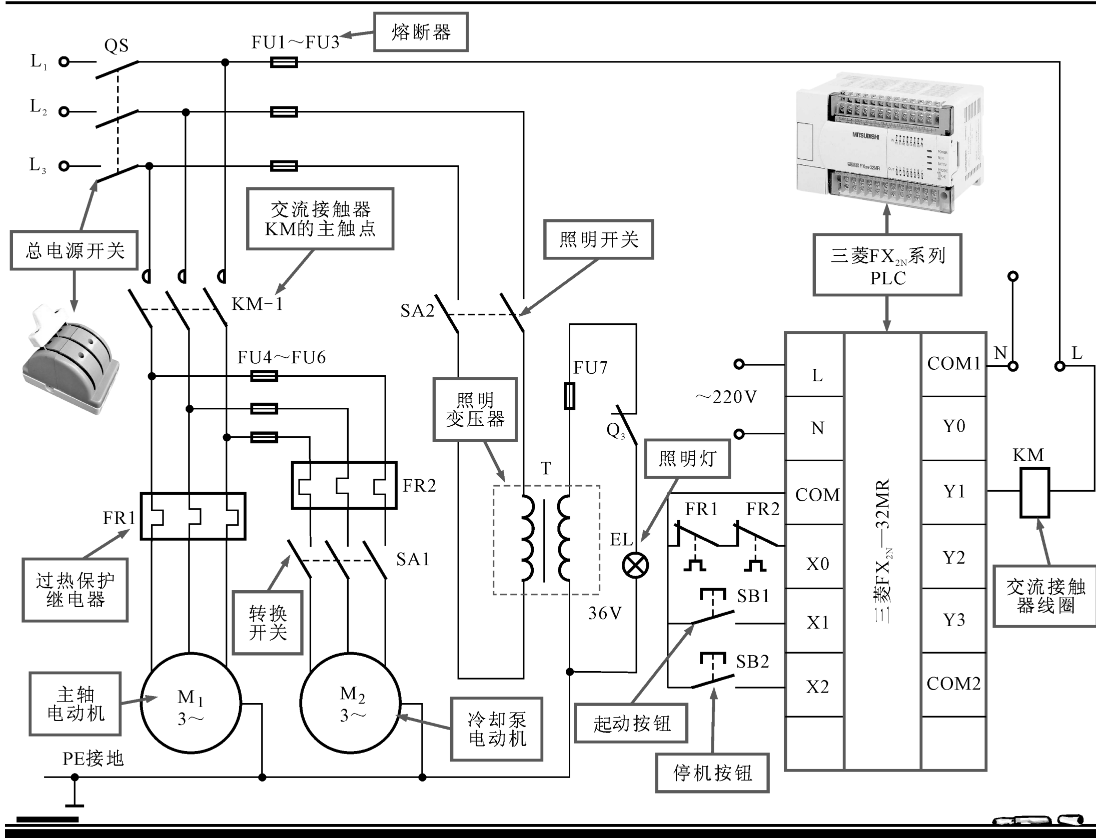


图 13-10　应用 PLC 的 C620—1 型卧式车床连续控制电路

（2）PLC 内的梯形图程序

上述控制电路中 PLC 内的控制程序称为 PLC 梯形图，如图 13-11 所示。为了方便读者了解，在梯形图各编程元件下方标注了其对应在传统控制系统中相应的按钮、交流接触器的触点、线圈等字母标识。

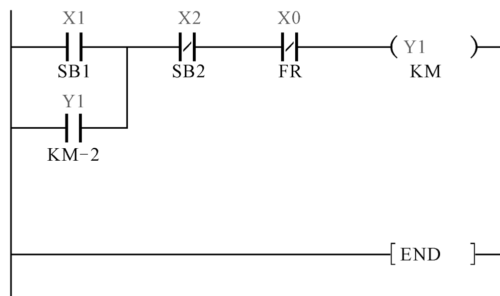


图 13-11　三相交流感应电动机三菱 FX_{2N} 系列 PLC 连续控制梯形图

2. 分析应用 PLC 的 C620—1 型卧式车床连续控制电路的控制过程

在 C620—1 型卧式车床的 PLC 控制电路中，PLC 作为核心的控制部件，控制该机床设备的所有动作。

下面就结合 PLC 内部用户梯形图程序具体分析 PLC 是如何做到对 C620—1 型卧式车床进行

连续控制的。

（1）PLC 控制下 C620—1 型卧式车床主轴电动机 M_1 的起动过程

图 13-12 所示为 PLC 控制下 C620—1 型卧式车床主轴电动机 M_1 的起动过程。

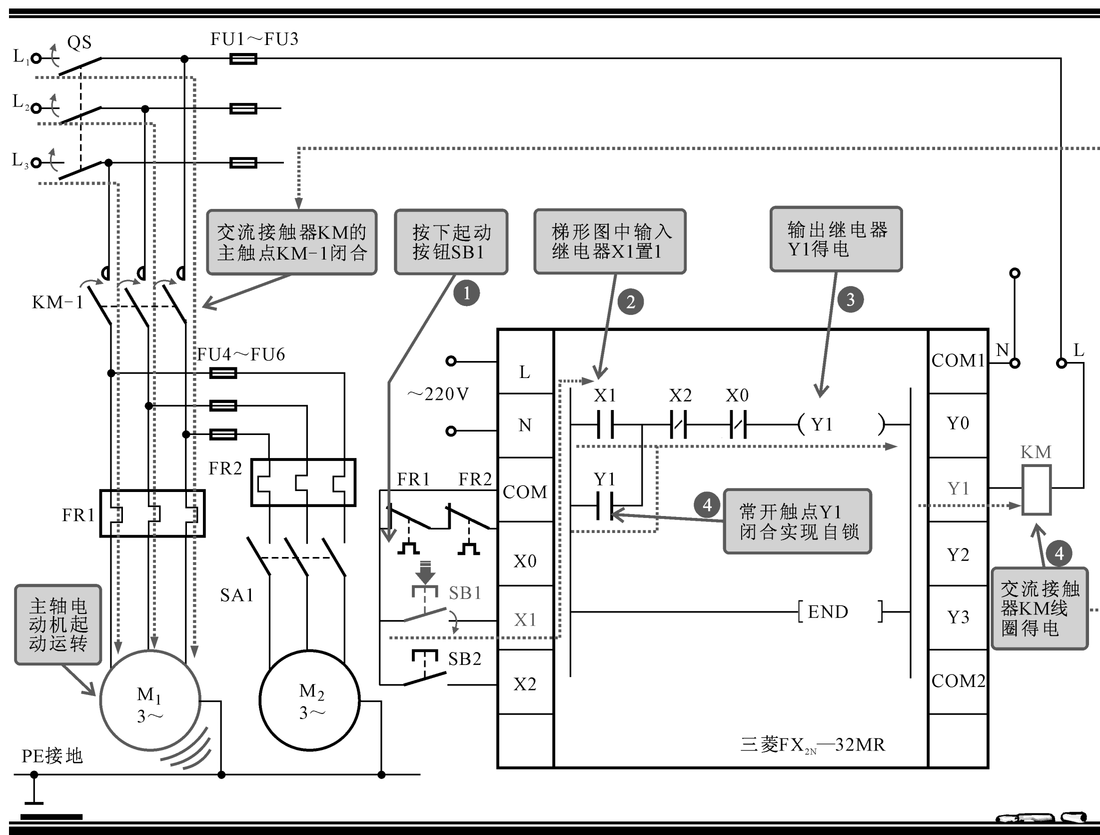


图 13-12　PLC 控制下 C620—1 型卧式车床主轴电动机 M_1 的起动过程

具体过程如下：

① 按下起动按钮 SB1；

①→② 将 PLC 内的 X1 置“1”，即该触点接通；

②→③ 输出继电器 Y1 得电；

→④ 控制 PLC 外接交流接触器 KM1 线圈得电，常开主触点 KM1-1 闭合，接通主轴电动机 M_1 电源，该电动机起动运转；

→④ 自锁触点 Y1 闭合自锁，即使松开起动按钮 SB1，电动机 M_1 仍保持得电运转状态。

（2）PLC 控制下 C620—1 型卧式车床主轴电动机 M_1 的停止过程

图 13-13 所示为 PLC 控制下 C620—1 型卧式车床主轴电动机 M_1 的停止过程。

具体过程如下：

① 按下停机按钮 SB2；

①→② 将 PLC 内的 X2 置“0”，即该触点断开；

②→③ 输出继电器 Y1 失电；

→④ 控制 PLC 外接交流接触器 KM1 线圈失电，常开主触点 KM1-1 复位断开，切断主轴电动机 M_1 电源，该电动机因失电停转；



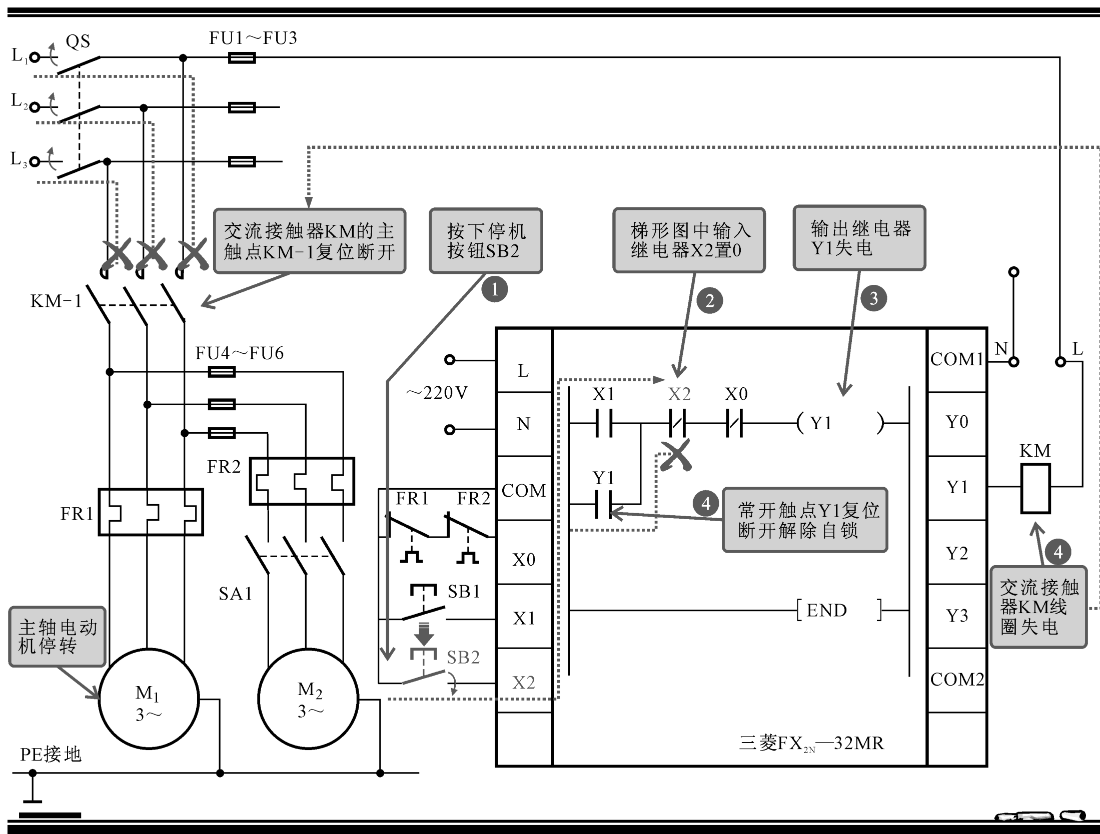


图 13-13 PLC 控制下 C620—1 型车床主轴电动机的停止过程

→④ 自锁触点 Y1 也同时复位断开，为下一次起动时实现自锁做好准备。



【提示】

在 C620—1 型卧式车床中，主轴电动机起动后，可通过转换开关 SA1 直接对其冷却泵电动机进行起停控制。同样，照明灯也可通过 SA2、SA3 进行手动控制。

13.4 电动葫芦的 PLC 控制是如何实现的





电动葫芦是起重运输机械的一种，主要用来提升或下降重物，并可以在水平方向平移重物。电动葫芦具有自重小、结构简单、操作方便等特点，但一般只有一个恒定的运行速度，大多应用于工矿企业的小型设备的安装、吊动和维修中。

图 13-14 所示为电动葫芦在电镀流水线的典型应用。

电动葫芦的基本外形结构如图 13-15 所示，可以看到，该设备中主要有两个电动机，分别用来控制挂钩的上下垂直运动及电动葫芦的左右水平运动。

13.4.1 先看看应用 PLC 控制的电动葫芦



应用 PLC 控制的电动葫芦，是通过 PLC 对电动葫芦中的两台电动机进行自动控制的。在该控制系统中，各主要控制部件和功能部件都直接连接到 PLC 相应的接口上，然后根据 PLC 内部程序的设定，实现对电动葫芦的控制功能。

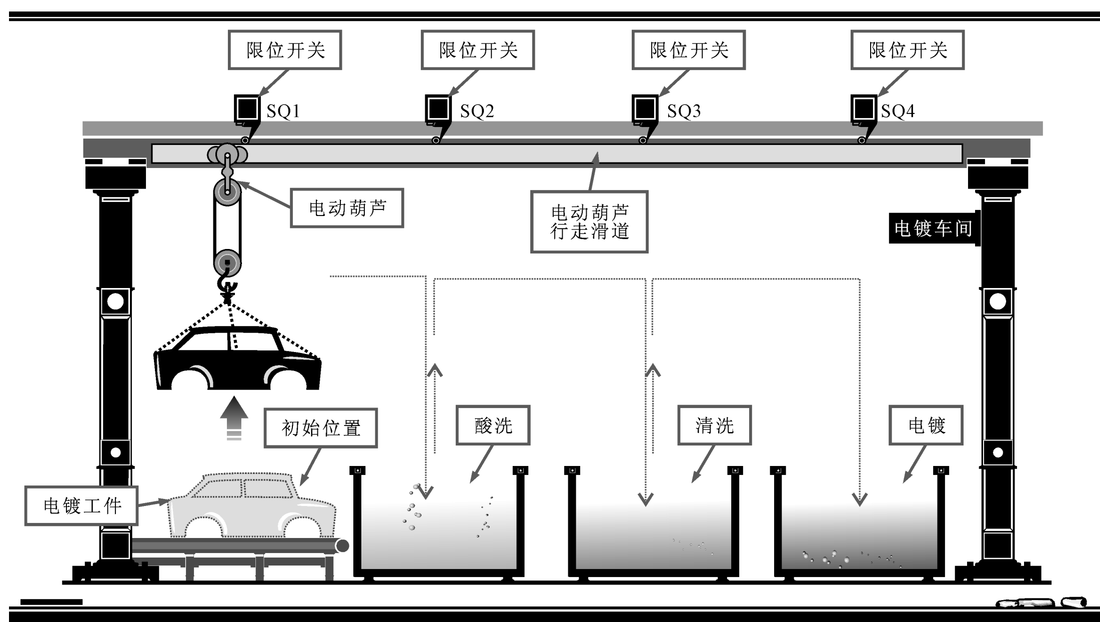


图 13-14　电动葫芦在电镀流水线的典型应用

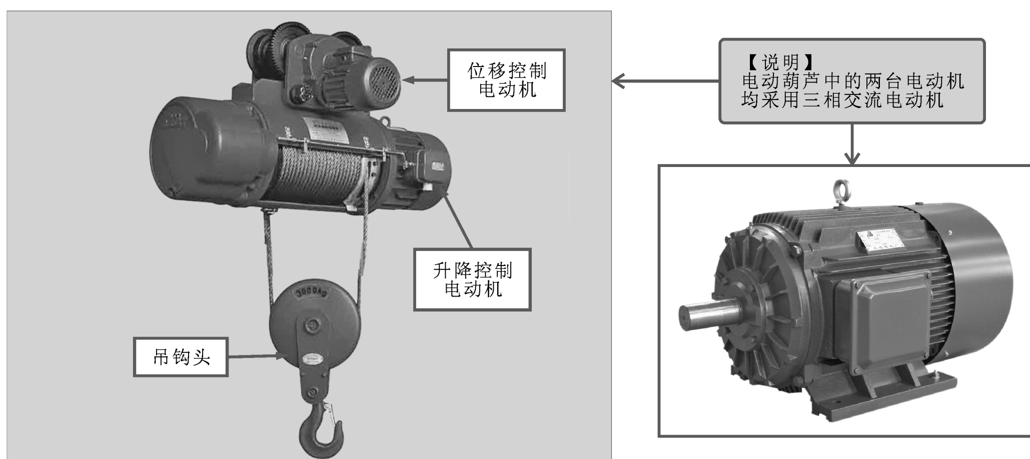


图 13-15　电动葫芦的基本外形结构

图 13-16 为电动葫芦的 PLC 控制电路原理图。

由图 13-16 可以看到，整个电路主要由 PLC、与 PLC 输入接口连接的控制部件（SB1 ~ SB4、SQ1 ~ SQ4）、与 PLC 输出接口连接的执行部件（KM1 ~ KM4）等构成。

在该电路中，PLC 控制器采用的是三菱 FX_{2N}—32MR 型 PLC，外部的控制部件和执行部件都是通过 PLC 控制器预留的 I/O 接口连接到 PLC 上的，各部件之间没有复杂的连接关系。

1. PLC 的 I/O 分配表

控制部件和执行部件分别连接到 PLC 输入接口相应的 I/O 接口上，它是根据 PLC 控制系统设计之初建立的 I/O 分配表进行连接分配的，其所连接接口名称也将对应于 PLC 内部程序的编程地址编号。由 PLC 控制的电动葫芦控制系统的 I/O 分配表见表 13-4 所列。

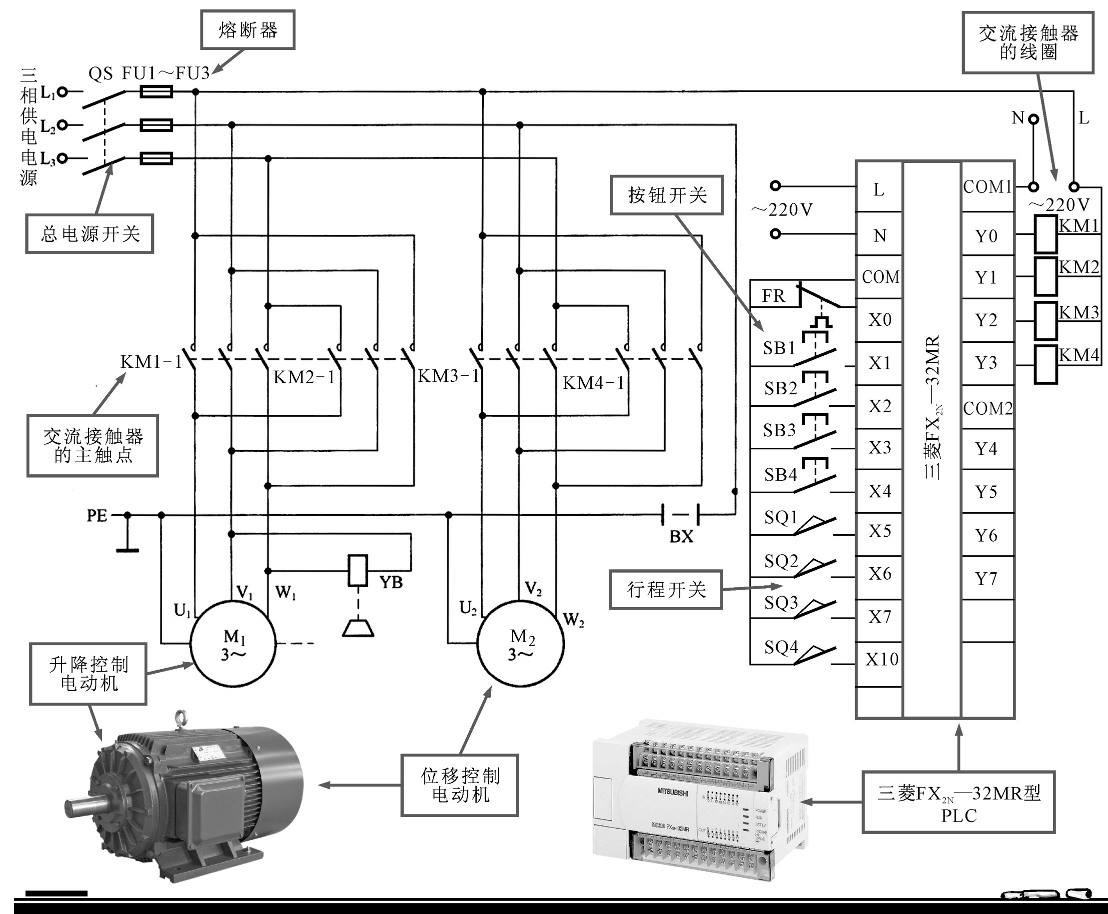


图 13-16 电动葫芦的 PLC 控制电路原理图

表 13-4 由三菱 FX_{2N}—32MR 型 PLC 控制的电动葫芦控制系统 I/O 分配表

输入信号及地址编号			输出信号及地址编号		
名称	代号	输入点地址编号	名称	代号	输出点地址编号
电动葫芦上升点动按钮	SB1	X1	电动葫芦上升接触器	KM1	Y0
电动葫芦下降点动按钮	SB2	X2	电动葫芦下降接触器	KM2	Y1
电动葫芦左移点动按钮	SB3	X3	电动葫芦左移接触器	KM3	Y2
电动葫芦右移点动按钮	SB4	X4	电动葫芦右移接触器	KM4	Y3
电动葫芦上升限位开关	SQ1	X5			
电动葫芦下降限位开关	SQ2	X6			
电动葫芦左移限位开关	SQ3	X7			
电动葫芦右移限位开关	SQ4	X10			

2. PLC 内的梯形图程序

上述控制电路中 PLC 内的控制程序称为 PLC 梯形图，如图 13-17 所示。为了方便读者了解，在梯形图各编程元件下方标注了其对应在传统控制系统中相应的按钮、交流接触器的触点、线圈等字母标识。

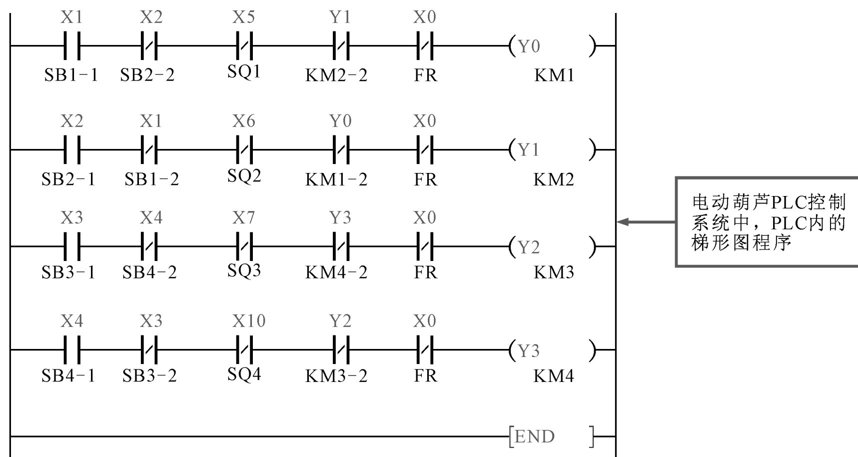


图 13-17　由 PLC 控制的电镀生产流水线控制系统的梯形图

13.4.2　搞清楚 PLC 是如何做到对电动葫芦进行控制的



在电动葫芦的 PLC 控制系统中，当 PLC 输入接口外接控制部件输入控制信号时，由 PLC 内部微处理器识别该控制信号，然后通过调用其内部用户程序，控制其输出接口外接的执行部件动作，使控制系统主电路中实现相应动作，由此控制电动葫芦中两台电动机动作，实现设备垂直和水平方向的移动。

下面就结合 PLC 内部用户梯形图程序具体分析 PLC 是如何做到对电动葫芦进行控制的。

1. PLC 控制下电动葫芦提升重物至指定位置的控制过程

在 PLC 控制下，按下上升起动按钮 SB1 时，电镀生产流水线提升重物，并到达设定位置自动停止上升的控制过程如图 13-18 所示。

具体控制过程如下：

① 按下上升点动按钮 SB1；

①→② 将 PLC 程序中输入继电器常开触点 X1 置“1”，常闭触点 X1 置“0”；

→ 控制输出继电器 Y0 的常开触点 X1 闭合；

→ 控制输出继电器 Y1 的常闭触点 X1 断开，实现输入继电器互锁；

②→③ 输出继电器 Y0 线圈得电；

→④ 常闭触点 Y0 断开实现互锁，防止输出继电器 Y1 线圈得电；

→④ 控制 PLC 外接交流接触器 KM1 线圈得电，带动主电路中的常开主触点闭合，接通升降电动机正向电源，电动机正向起动运转，开始提升重物；

⑤ 当电动机上升到限位开关 SQ1 位置时，限位开关 SQ1 动作；

⑤→⑥ 将 PLC 程序中输入继电器常闭触点 X5 置“1”，即常闭触点 X5 断开；

⑥→⑦ 输出继电器 Y0 失电；

→⑧ 控制 Y1 线路中的常闭触点 Y0 复位闭合，解除互锁，为输出继电器 Y1 得电做好准备；

→⑧ 控制 PLC 外接交流接触器线圈 KM1 失电，带动主电路中的常开主触点复位断开，断开升降电动机正向电源，电动机停转，停止提升重物。

2. PLC 控制下电动葫芦水平位移到指定位置下降重物的控制过程

按下右移点动按钮 SB4 时，将十字开关拨至上端，常开触点 SA1-3 闭合时，PLC 控制下摇臂钻床的摇臂升降电动机 M_3 上升的控制过程如图 13-19 所示。



图 13-18　PLC 控制电镀生产流水线提升重物的控制过程



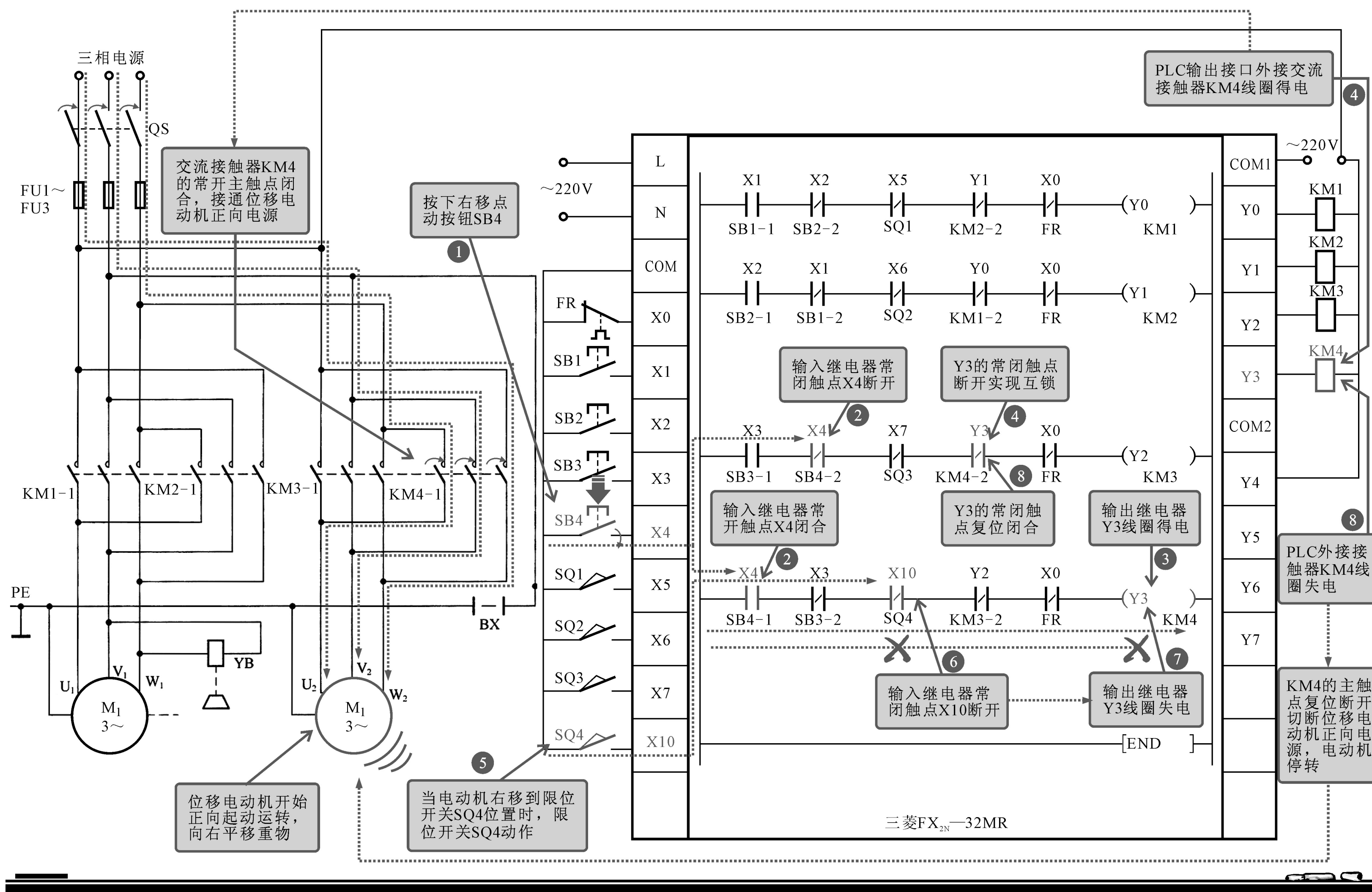


图 13-19　十字开关拨至上端摇臂升降电动机 M_3 上升的控制过程



具体控制过程如下：

① 按下右移点动按钮 SB4；

①→② 将 PLC 程序中输入继电器常开触点 X4 置“1”，常闭触点 X4 置“0”；

→ 控制输出继电器 Y3 的常开触点 X4 闭合；

→ 控制输出继电器 Y2 的常闭触点 X4 断开，实现输入继电器互锁；

②→③ 输出继电器 Y3 线圈得电；

→④ 常闭触点 Y3 断开实现互锁，防止输出继电器 Y2 线圈得电；

→④ 控制 PLC 外接交流接触器 KM4 线圈得电，带动主电路中的常开主触点闭合，接通位移电动机正向电源，电动机正向起动运转，开始带动重物向右平移；

⑤ 当电动机右移到限位开关 SQ4 位置时，限位开关 SQ4 动作；

⑤→⑥ 将 PLC 程序中输入继电器常闭触点 X10 置“1”，即常闭触点 X10 断开；

⑥→⑦ 输出继电器 Y3 线圈失电；

→⑧ 控制输出继电器 Y2 的常闭触点 Y3 复位闭合，解除互锁，为输出继电器 Y2 得电做好准备；

→⑧ 控制 PLC 外接交流接触器 KM4 线圈失电，带动主电路中的常开主触点复位断开，断开位移电动机正向电源，电动机停转，停止平移重物。



【提示】

在电镀生产流水线中，重物的下降即左移控制与上述的控制方式相同，可参照上述分析过程。

通过上述电路分析，我们大致可以归纳出在 PLC 控制下，电动葫芦的各控制过程。另外，上述 PLC 控制中重物的提升→停止提升→右移→停止右移→下降→工序处理→处理完成后上升→停止上升→再次右移只第二个工序→下降→进行第二个工序处理等过程中还可通过定时器设定工序执行时间后，自动提升重物，并自动进入第二个工序，实现整个控制系统的自动化控制，其梯形图程序也将有所不同。也就是说，通过更改 PLC 内的梯形图程序便可实现不同控制功能，而无需拆除外接电气部件，具有高可靠性和灵活性。

13.5 自动门的 PLC 控制是如何实现的





随着自动化控制技术的不断进步，一些企业或大厦中采用自动门技术，通过门卫处的门开关进行自动开关门控制，并设有保护电路，防止夹住人或物品。

图 13-20 为典型自动门功能结构示意图。

该自动门具有以下控制功能：门卫可以通过警卫室内的开门开关 SB1、关门开关 SB2 和停止开关 SB3 来控制大门的工作状态。

① 当按下开门开关 SB1 后，报警灯 HL 开始闪烁（周期为 0.4s），5s 后开门接触器 KM1 得电，控制电动机正向旋转，大门开始打开，直到碰到开门限位开关 SQ1，门停止运动，报警灯停止闪烁。

② 当按下关门开关 SB2 后，报警灯 HL 开始闪烁（周期为 0.4s），5s 后关门接触器 KM2 得电，控制电动机反向旋转，大门开始关闭，直到碰到关门限位开关 SQ2，门停止运动，报警灯停止闪烁。

③ 门在运动的过程中，只要按下停止开关 SB3，门马上停止在当前的位置上，报警灯停止闪烁。

④ 门在关闭的过程中，只要门夹住人或其他物体，安全压力板（安全开关）就会受到额定

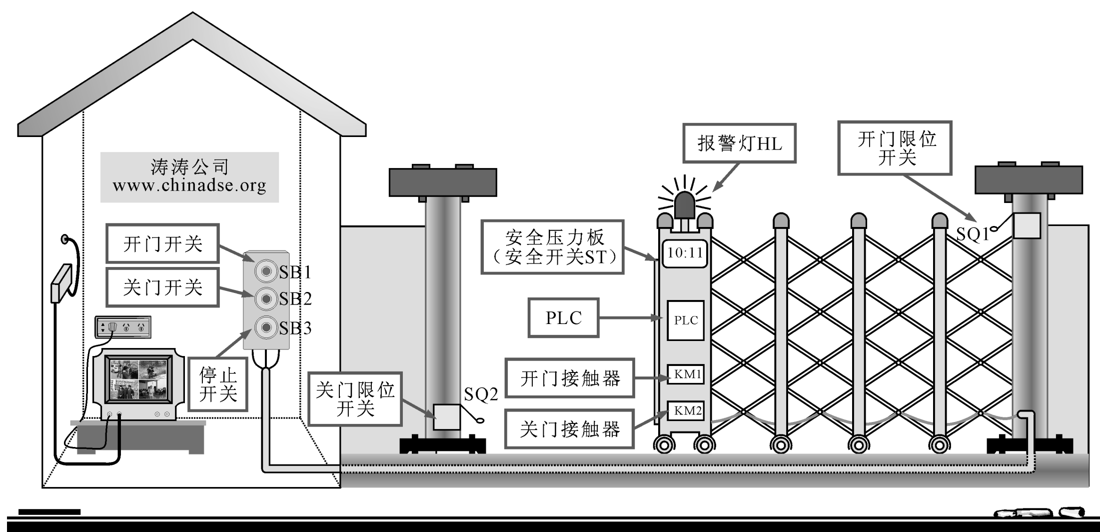


图 13-20 典型自动门功能结构示意图

压力，门立即停止运动，防止 PLC 控制系统或人、物品等受到伤害。

⑤ 当同时按下开门开关 SB1 和关门开关 SB2 时，门不移动。

13.5.1 先看看应用 PLC 控制的自动门



应用 PLC 控制的自动门，是通过 PLC 对自动门中的驱动电动机进行自动控制的。在该控制系统中，各主要控制部件和功能部件都直接连接到 PLC 相应的接口上，然后根据 PLC 内部程序的设定，实现对自动门开启、关闭、停止等控制功能。

图 13-21 为自动门的 PLC 控制电路原理图。

由图 13-21 可以看到，整个电路主要由 PLC、与 PLC 输入接口连接的控制部件（SB1 ~ SB3、SQ1 ~ SQ2、ST）、与 PLC 输出接口连接的执行部件（KM1 ~ KM2、HL）等构成。

在该电路中，PLC 控制器采用的是三菱 FX_{2N} 系列 PLC，外部的控制部件和执行部件都是通过 PLC 控制器预留的 I/O 接口连接到 PLC 上的，各部件之间没有复杂的连接关系。

1. PLC 的 I/O 分配表

控制部件和执行部件分别连接到 PLC 输入接口相应的 I/O 接口上，它是根据 PLC 控制系统设计之初建立的 I/O 分配表进行连接分配的，其所连接接口名称也将对应于 PLC 内部程序的编程地址编号。由 PLC 控制自动门控制系统的 I/O 分配表如表 13-5 所示。

2. PLC 内的梯形图程序

图 13-22 为由 PLC 控制的自动门电路的梯形图，为了方便读者了解，在梯形图各编程元件下方标注了其对应在传统控制系统中相应的按钮、交流接触器的触点、线圈等字母标识。

表 13-5 自动门的 PLC 控制 FX_{2N} 系列 PLC 控制 I/O 分配表

输入信号及地址编号			输出信号及地址编号		
名称	代号	输入点地址编号	名称	代号	输出点地址编号
开门开关	SB1	X1	关门接触器	KM1	Y1
关门开关	SB2	X2	开关接触器	KM2	Y2
停止开关	SB3	X3	报警灯	HL	Y3
开门限位开关	SQ1	X4			
关门限位开关	SQ2	X5			
安全开关	ST	X6			



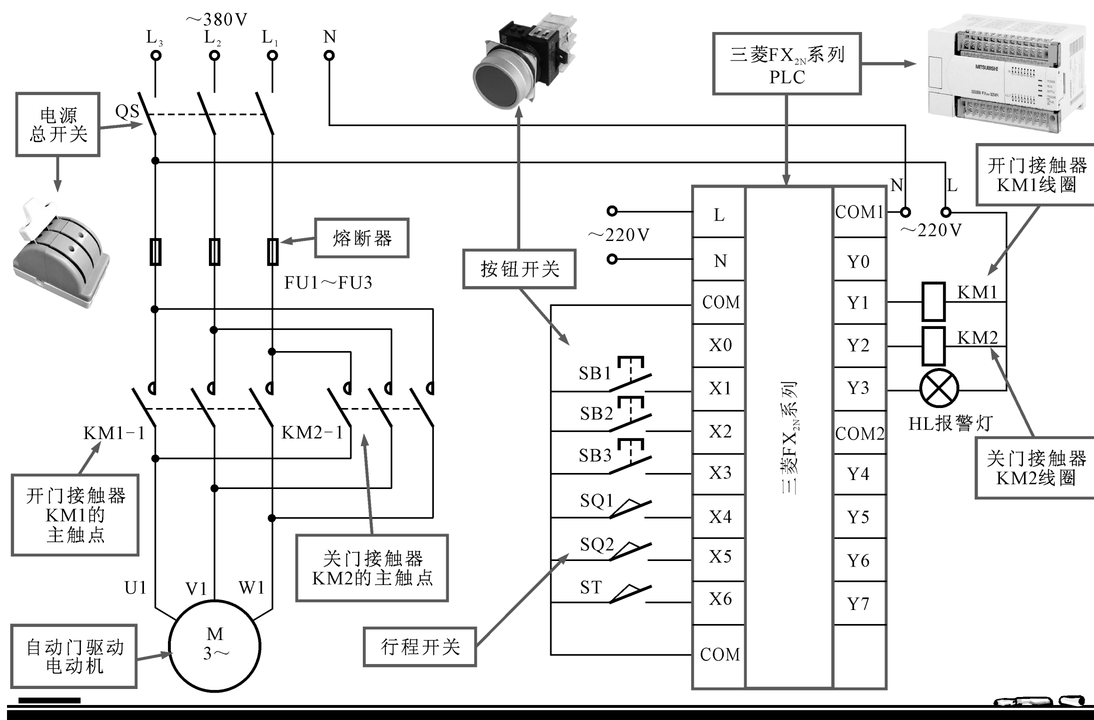


图 13-21　自动门的 PLC 控制电路原理图

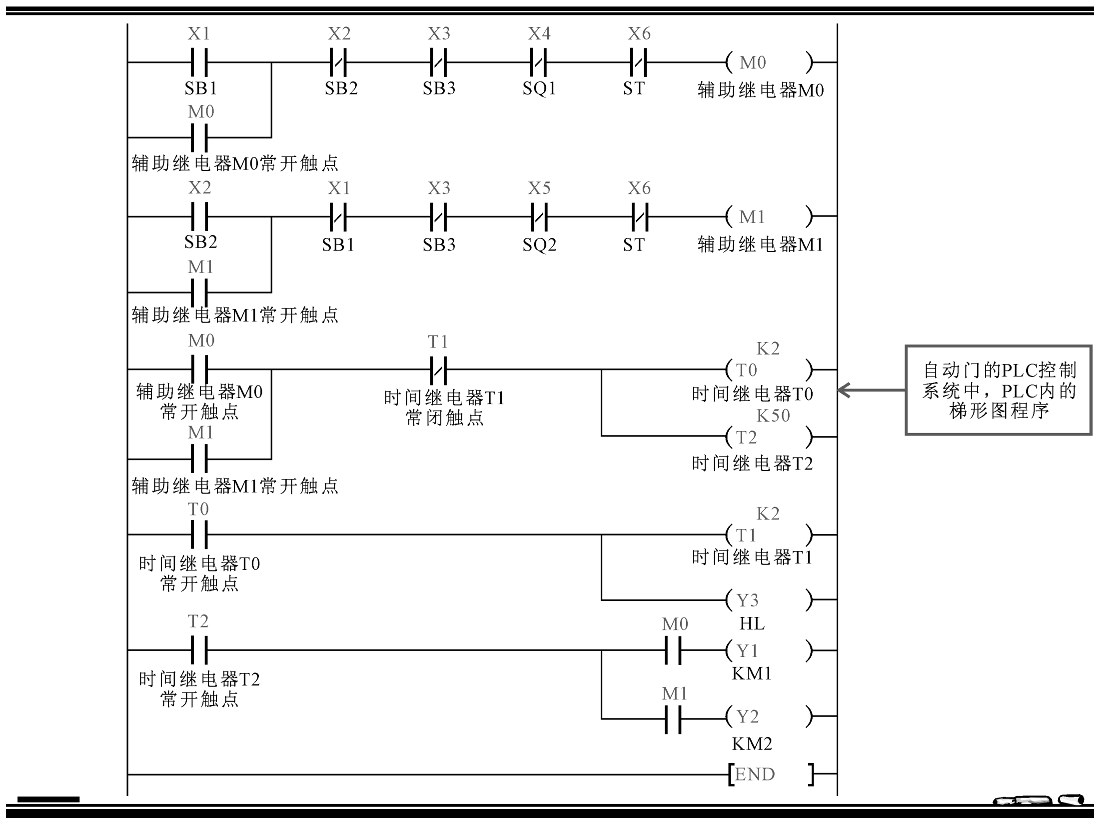


图 13-22　由 PLC 控制的自动门电路的梯形图



提问 梯形图中的M0、M1、T0、T1、T2是什么意思？为什么在I/O分配表中没有为这些元件分配地址编号呢？

回答



在三菱PLC梯形图中字母M表示辅助继电器，采用十进制编号，是PLC编程中应用较多的一种编程元件，它不能直接读取外部输入，也不能直接驱动外部功能部件，只能作为辅助运算，因此不需要为其分配输入点地址编号。

在三菱PLC梯形图中字母T表示时间继电器，采用十进制编号，它是将PLC内的1ms、10ms、100ms等时钟脉冲进行累计计时的，计时到达预设值时，其延时动作的常开、常闭触点才会相应动作。

根据功能的不同定时器可分为通用型定时器和累计型定时器两种，其中通用型定时器共有246点，元件范围为T0～T245；累计型定时器共有10点，元件范围为T246～T255。不同类型不同编号的定时器其时钟脉冲和计时范围也有所不同，表13-6所列为三菱FX_{2N}系列PLC不同类型不同编号的定时器所对应的时钟脉冲和计时范围。

表13-6 三菱FX_{2N}系列PLC不同类型不同编号的定时器所对应的时钟脉冲和计时范围

定时器类型	定时器编号	时钟脉冲	计时范围
通用型定时器	T0～T199	100ms	0.1～3276.7s
	T200～T245	10ms	0.01～327.67s
累计型定时器	T246～T249	1ms	0.001～32.767s
	T250～T255	100ms	0.1～3276.7s

三菱PLC定时器的定时时间T＝时钟脉冲（ms）×计时常数（K或H）。计时常数用于设定定时器的计时时间，常使用字母K或H进行标识，其中K用来表示十进制常数，H用来表示十六进制常数（0～9和A～F）。

例如，在图13-22中，定时器的编号为T0，计时常数K预设值为2，通过表13-6查询可知T0的时钟脉冲为100ms，因此可计算出该定时器的定时时间T＝100ms×2＝200ms＝0.2s。即当定时器T0线圈得电，开始0.2s计时，当计时时间到时，其延时闭合的常开触点T0闭合，控制时间继电器T2和输出继电器Y3线圈得电。

13.5.2 搞清楚PLC是如何做到对自动门进行控制的



在自动门的PLC控制系统中，当PLC输入接口外接控制部件输入控制信号时，由PLC内部微处理器识别该控制信号，然后通过调用其内部用户程序，控制其输出接口外接的执行部件动作，使控制系统主电路中实现相应动作，由此控制自动门中驱动电动机动作，实现自动门开启和关闭控制。

下面就结合PLC内部用户梯形图程序具体分析PLC是如何做到对自动门进行控制的。

1. PLC控制器自动门开门的控制过程

自动门的开门是由开门开关SB1和开门接触器KM1控制的，按下SB1后，信号送入PLC中，再去控制开门接触器，其控制过程如图13-23所示。

具体控制过程如下：

① 按下开门开关SB1；



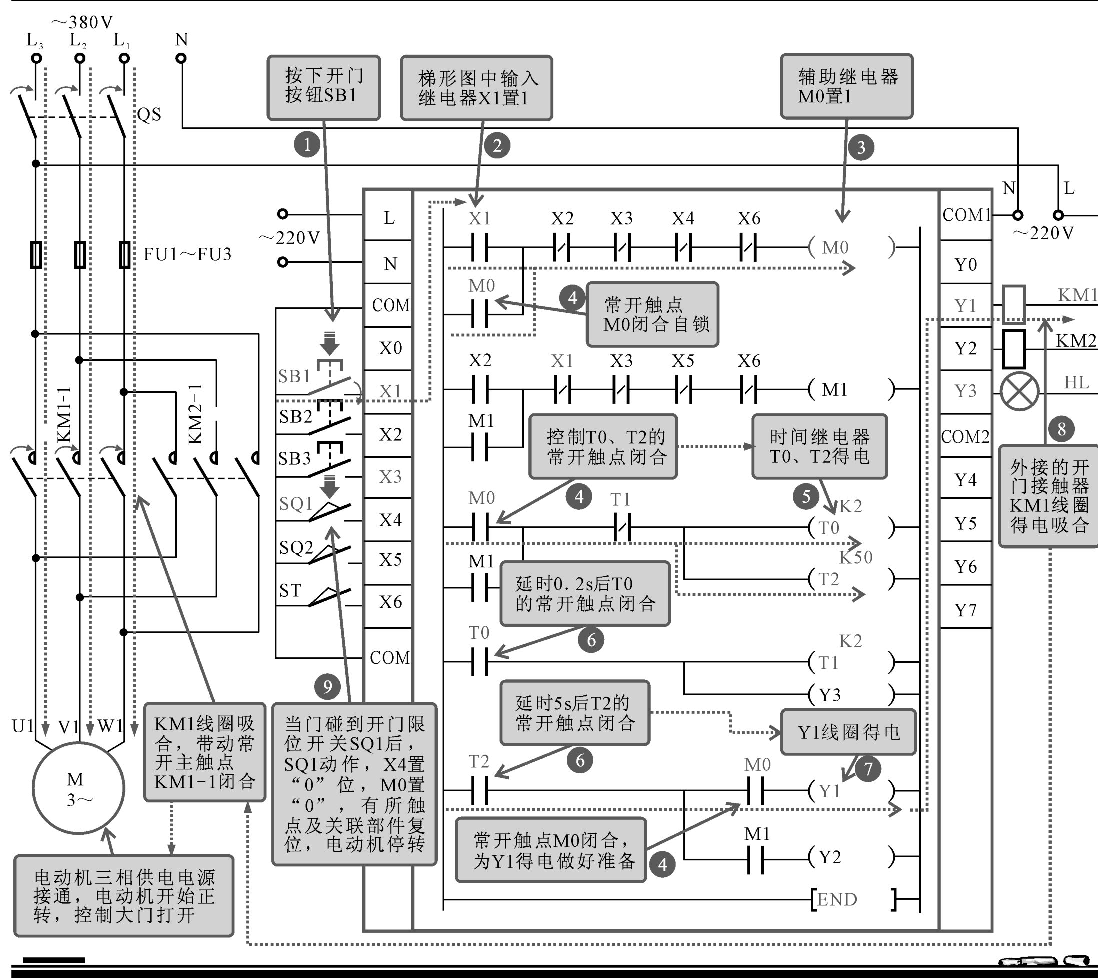


图 13-23　自动门开门的工作过程

→② PLC 内部的常开触点 X1 置“1”位（闭合）；

→② PLC 内部控制 M1 的常闭触点 X1 置“0”，防止 M1 得电；

②→③ 辅助继电器 M0 线圈得电；

→④ 控制 M0 线路的常开触点 M0 闭合实现自锁；

→④ 控制时间继电器 T0、T2 的常开触点 M0 闭合；

→④ 控制输出继电器 Y1 的常开触点 M0 闭合。

④→⑤ 时间继电器 T0、T2 得电；

→⑥ 延时 0.2s 后，T0 的常开触点闭合，为定时器 T1 和 Y3 供电，使报警灯 HL 以 0.4 秒每周期进行闪烁；

→⑥ 延时 5s 后，控制 Y1 线路中的 T2 常开触点闭合；

⑥→⑦ 输出继电器 Y1 得电；

→⑧ 外接的开门接触器 KM1 线圈得电吸合，带动其常开主触点 KM1-1 闭合，接通电动机三相电源，电动机正转，控制大门打开；

⑨ 当碰到开门限位开关 SQ1 后，SQ1 动作，X4 置“0”位（断开），辅助继电器 M0 失电，所有触点复位，所有关联部件复位，电动机停止转动，门停止移动。

2. 自动门关门的工作过程

自动门的关门是由关门开关 SB2 和关门接触器 KM2 控制的，按下 SB2 后，信号送入 PLC 中，再去控制关门接触器，其控制过程如图 13-24 所示。

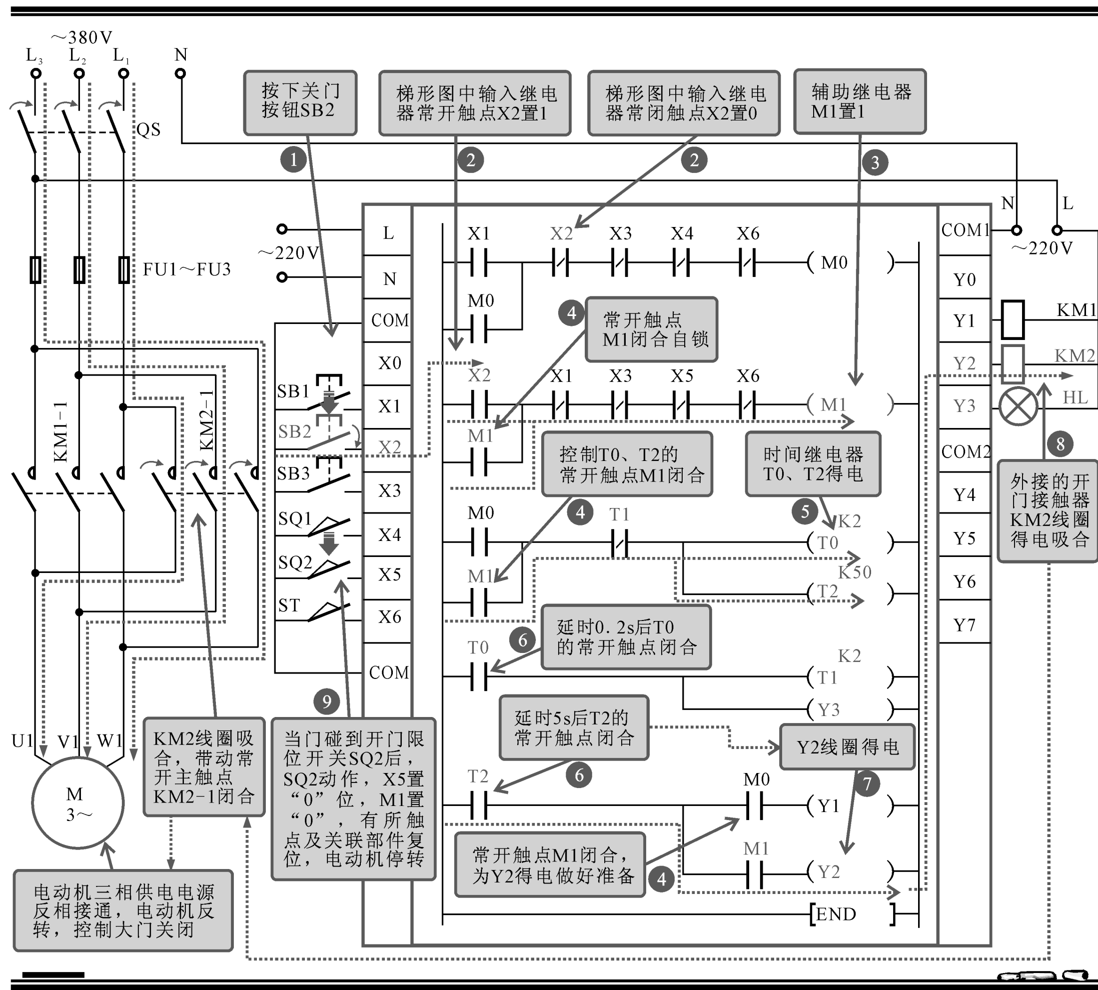


图 13-24　自动门关门的工作过程

具体控制过程如下：

① 按下关门开关 SB2；

→② PLC 内部的常开触点 X2 置“1”位（闭合）；

→② PLC 内部控制 M0 的常闭触点 X2 置“0”，防止 M0 得电；

②→③ 辅助继电器 M1 线圈得电；

→④ 控制 M1 线路的常开触点 M1 闭合实现自锁；

→④ 控制时间继电器 T0、T2 的常开触点 M1 闭合；

→④ 控制输出继电器 Y1 的常开触点 M1 闭合；

④→⑤ 延时 0.2s 后，T0 的常开触点闭合，为定时器 T1 和 Y3 供电，使报警灯 HL 以 0.4 秒每周期进行闪烁；

⑥ 延时 5s 后，控制 Y2 线路中的 T2 常开触点闭合；

⑥→⑦ 输出继电器 Y2 得电；



→⑧ 外接的开门接触器KM2线圈得电吸合，带动其常开主触点KM2-1闭合，反相接通电动机三相电源，电动机反转，控制大门关闭；

⑨ 当碰到开门限位开关SQ2后，SQ2动作，X5置“0”位（断开），辅助继电器M1失电，所有触点复位，所有关联部件复位，电动机停止转动，门停止移动。



【注意】

不管是在开门还是在关门的过程中，按下停止按钮SB3或有物体挤压安全开关ST时，PLC内部的X3或X6置“0”，位（断开），此时电动机失电，门停止移动。

13.6 蓄水池的PLC控制是如何实现的





当前，有一蓄水池用于存储工厂日常的工业用水，为对蓄水池水量的多少进行控制调节，除为其设置了单向排水装置外，还在其附近建造了一个水塔，并通过进/出水管与蓄水池连接，来对蓄水池的水量进行有效地控制。

蓄水池双向进排水控制线路的功能结构如图13-25所示。

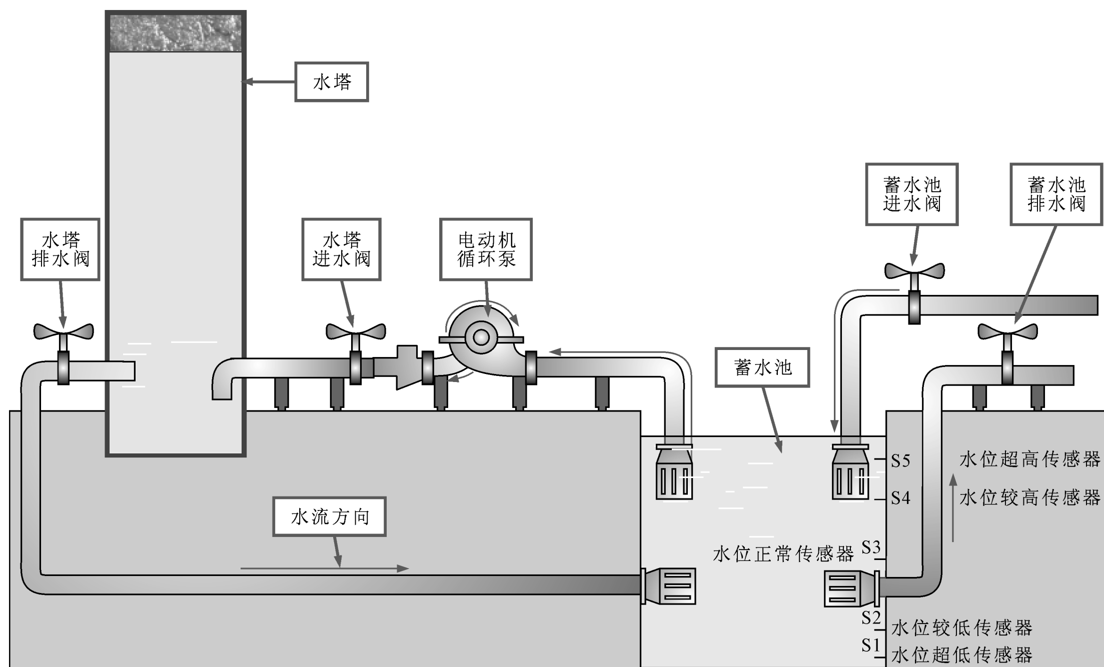


图13-25　蓄水池双向进排水控制线路的功能结构图

从图13-25中可以看出，整个蓄水池双向进排水线路主要是由蓄水池、水塔、水塔进/排水阀、电动机循环泵、蓄水池进/排水阀等部分构成的。

其蓄水池水量的控制功能如下：

① 当蓄水池水位超低时（－50mm以下），停止排水，开始双进水（蓄水池进水阀门打开，开始蓄水池进水，同时水塔开始向蓄水池排水）。

② 当蓄水池水位较低时（－40～－20mm），停止排水，开始单进水（水塔开始向蓄水池排水）。

③ 当蓄水池水位正常时（－10～10mm），蓄水池不进水，不出水。

④ 当蓄水池水位较高时（40～20mm），开始单进水（打开水塔进水阀，延迟1s后再次打开电动机循环泵，开始向水塔进水）。

⑤ 当蓄水池水位超高时（50mm以上），开始双排水（蓄水池排水阀门打开，开始蓄水池排水，同时水塔开始进水）。

值得注意的是，在水塔准备进水操作时，应先打开进水阀，延迟1s后再次打开电动机循环泵；停止水塔进水操作，则需要先停止电动机循环泵，延迟1s后再关闭进水阀。

13.6.1 先看看应用PLC控制的蓄水池



应用PLC控制蓄水池的进排水，是通过PLC接收传感器输入量信号来对蓄水池中的电磁阀、循环水泵进行自动控制的。在该控制系统中，各主要控制部件和功能部件都直接连接到PLC相应的接口上，然后根据PLC内部程序的设定，实现对蓄水池进排水的控制功能。

图13-26为蓄水池的PLC控制电路原理图。

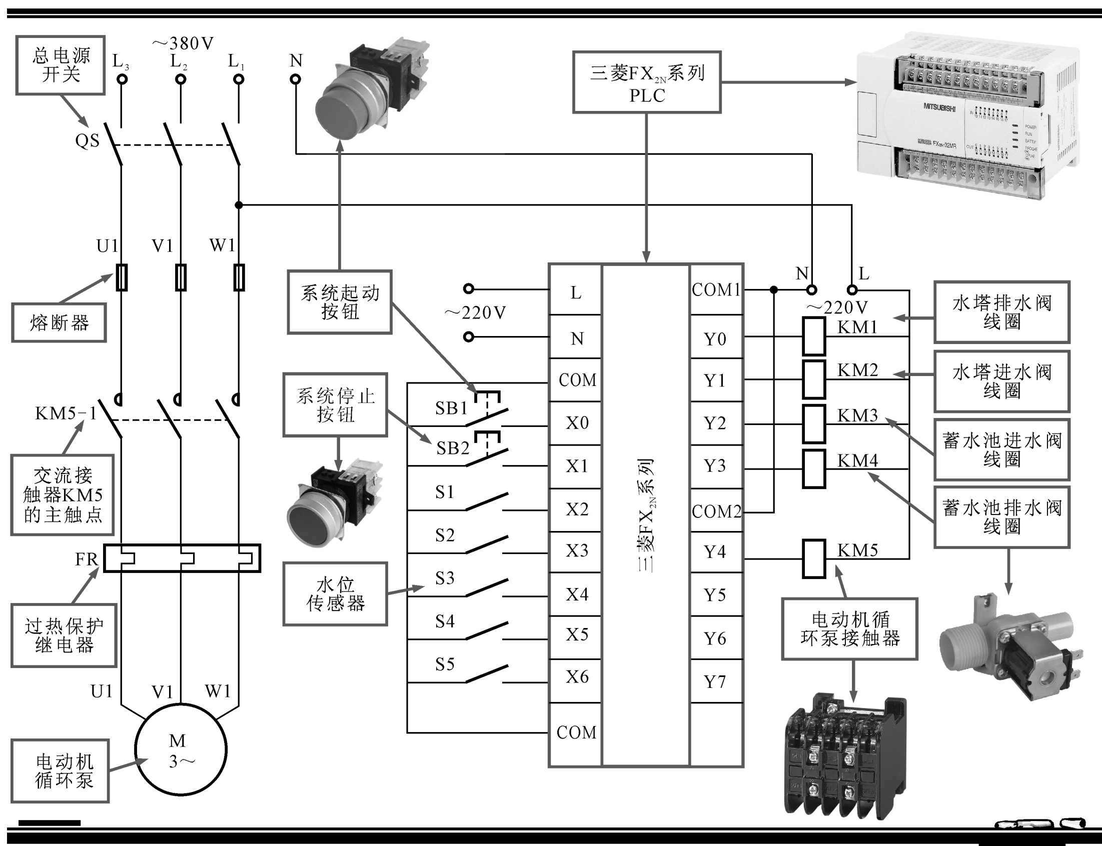


图13-26 蓄水池的PLC控制电路原理图

由图13-26可以看到，整个电路主要由PLC、与PLC输入接口连接的控制部件（SB1～SB2、S1～S5）、与PLC输出接口连接的执行部件（KM1～KM5）等构成。

在该电路中，PLC控制器采用的是三菱FX_{2N}系列PLC，外部的控制部件和执行部件都是通过PLC控制器预留的I/O接口连接到PLC上的，各部件之间没有复杂的连接关系。

1. PLC 的 I/O 分配表

控制部件和执行部件分别连接到 PLC 输入接口相应的 I/O 接口上，它是根据 PLC 控制系统设计之初建立的 I/O 分配表进行连接分配的，其所连接接口名称也将对应于 PLC 内部程序的编程地址编号。由 PLC 控制的蓄水池控制系统的 I/O 分配表如表 13-7 所示。

表 13-7 由三菱 FX_{2N}系列 PLC 控制的蓄水池控制系统 I/O 分配表

输入信号及地址编号			输出信号及地址编号		
名称	代号	输入点地址编号	名称	代号	输出点地址编号
系统起动按钮	SB1	X0	水塔排水阀接触器	KA1	Y0
系统停止按钮	SB2	X1	水塔进水阀接触器	KA2	Y1
蓄水池水位超低传感器	S1	X2	蓄水池进水阀接触器	KA3	Y2
蓄水池水位较低传感器	S2	X3	蓄水池排水阀接触器	KA4	Y3
蓄水池水位正常传感器	S3	X4	电动机循环泵接触器	KM5	Y4
蓄水池水位较高传感器	S4	X5			
蓄水池水位超高传感器	S5	X6			

2. PLC 内的梯形图程序

图 13-27 为蓄水池三菱 FX_{2N}系列 PLC 控制梯形图，为了方便读者了解，在梯形图各编程元件下方标注了其对应在传统控制系统中相应的按钮、交流接触器的触点、线圈等字母标识。

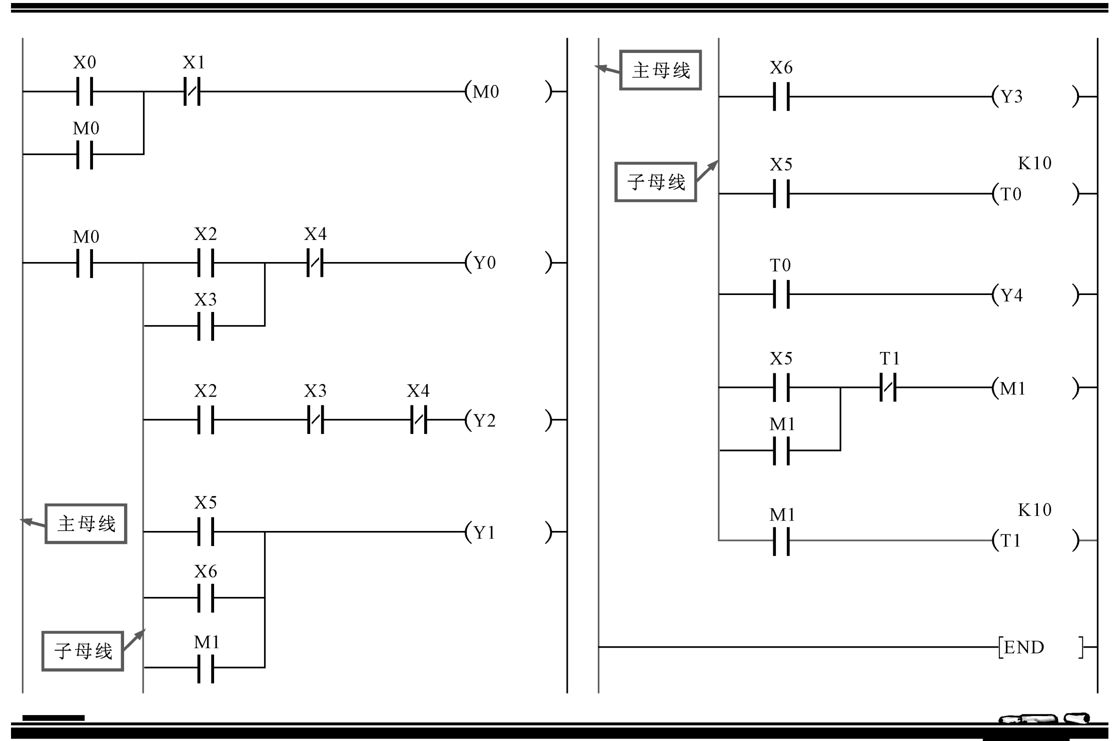


图 13-27 蓄水池三菱 FX_{2N}系列 PLC 控制梯形图



【资料】

根据图 13-27 中的梯形图程序的结构可知，在梯形图中共有两条母线，其中，靠近最外侧的母线为主母线，其内部的一条线为子母线，只有当设置在主母线上的 M0 得电后，其子母线上的相关操作才可实现。

同时，根据蓄水池水塔进/排水控制线路的设计需求，需在电路中设计两个时间继电器，来对电动机循环泵与水塔进水阀先后控制的间隔时间进行设定，其间隔控制时间为 1s。从该梯形图可看出，其时间继电器的设置时间为“K10”，即经过的时间为 10×0.1s = 1s。

13.6.2　搞清楚 PLC 是如何做到对蓄水池进行控制的



在蓄水池进排水的 PLC 控制系统中，当 PLC 输入接口外接控制部件输入控制信号时，由 PLC 内部微处理器识别该控制信号，然后通过调用其内部用户程序，控制其输出接口外接的执行部件动作，使控制系统主电路中实现相应动作，由此控制蓄水池中电磁阀、循环水泵，实现蓄水池自动进水和排水控制。

下面就结合 PLC 内部用户梯形图具体分析 PLC 是如何做到对蓄水池电磁阀、循环水泵进行控制的。

PLC 控制下蓄水池的双向进排水过程如图 13-28 所示。

具体过程如下：

① 按下系统起动按钮 SB1；

①→② 将 PLC 内的 X0 置“1”，即该触点接通；

②→③ 辅助继电器 M0 得电；

→④ M0 的自锁常开触点 M0 闭合实现自锁，（松开 SB1 时，由于辅助继电器 M0 已闭合自锁，从而实现当松开起动按钮后，整个蓄水池进/排水系统仍继续工作）；

→④ 控制子母线设备的常开触点 M0 闭合，使其子母线上的所有设备均具备基本的工作条件；

⑤ 当蓄水池水位超低或较低时，传感器 S1、S2 接通；

⑤→⑥ 蓄水池水位传感器 X2 或 X3 得电接通；

→⑦ 水塔排水阀 Y0 得电→⑧即交流接触器 KA1 得电开始向蓄水池排水；

→⑦ 在蓄水池水位超低时，蓄水池进水阀 Y2 得电→⑧即交流接触器 KM3 得电，由外部设备向进水阀送水；

⑨ 当蓄水池水位超高或较高时，传感器 S4、S5 接通；

⑨→⑩ 蓄水池水位传感器 X6 或 X5 得电接通；

→⑪ 水塔进水阀 Y1 得电，蓄水池中水开始向水塔排放；

→ ⑪ 蓄水池排水阀 Y3 得电，即交流接触器 KA4 得电，开始向外部排水；

→ ⑪ 同时，触发时间继电器 T0 得电，开始计时；

⑫ 时间继电器设定的时间为 1s，当时间到达后，常开触点 T0 接通；

⑫→⑬ T0 接通，使电动机循环泵 Y4 得电；

⑬→⑭ 交流接触器 KM5 得电，从而实现由蓄水池向水塔的进水过程。



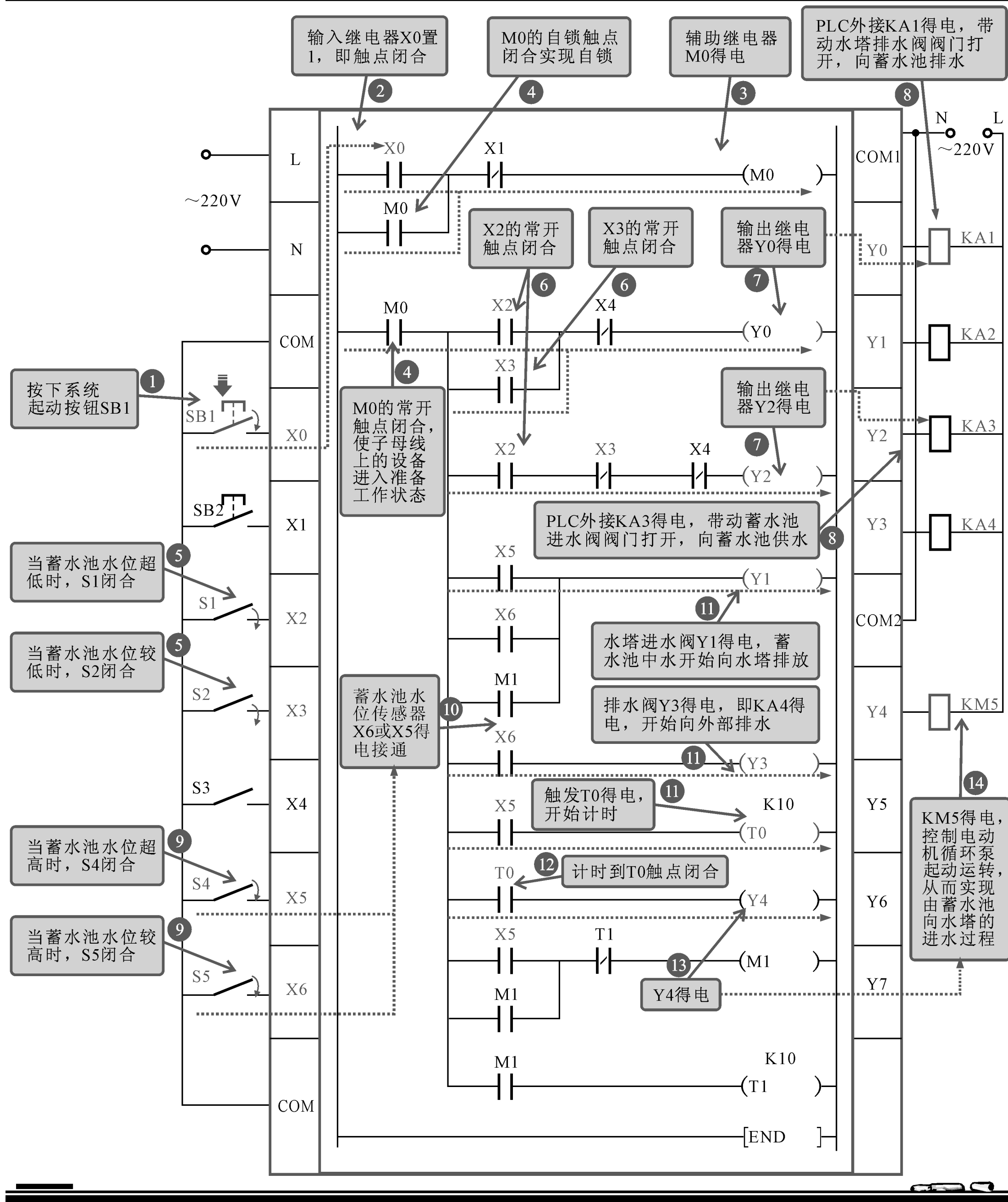


图 13-28　PLC 控制下蓄水池双向进排水过程

读者需求调查表

亲爱的读者朋友：

您好！为了提升我们图书出版工作的有效性，为您提供更好的图书产品和服务，我们进行此次关于读者需求的调研活动，恳请您在百忙之中予以协助，留下您宝贵的意见与建议！

个人信息

姓名		出生年月		学历	
联系电话		手机		E-mail	
工作单位				职务	
通讯地址				邮编	

1. 您感兴趣的科技类图书有哪些？

□自动化技术　□电工技术　□电力技术　□电子技术　□仪器仪表　□建筑电气

□其他（　　）以上各大类中您最关心的细分技术（如 PLC）是：（　　　）

2. 您关注的图书类型有：

□技术手册　□产品手册　□基础入门　□产品应用　□产品设计　□维修维护

□技能培训　□技能技巧　□识图读图　□技术原理　□实操　　　□应用软件

□其他（　　）

3. 您最喜欢的图书叙述形式：

□问答型　□论述型　□产例型　□图文对照　□图表　□其他（　　）

4. 您最喜欢的图书开本：

□口袋本　□32 开　□B5　□16 开　□图册　□其他（　　）

5. 图书信息获得渠道：

□图书征订单　□图书目录　□书店查询　□书店广告　□网络书店　□专业网站

□专业杂专　□专业报纸　□专业会议　□朋友介绍　□其他（　　）

6. 购书途径：

□书店　□网络　□出版社　□单位集中采购　□其他（　　）

7. 您认为图书的合理价位是（元/册）：

手册（　　）　图册（　　）　技术应用（　　）　技能培训（　　）　基础入门（　　）　其他（　　）

8. 每年购书费用：

□100 元以下　□101 ~ 200 元　□201 ~ 300 元　□300 元以上

9. 您是否有本专业的写作计划？

□否　□是（具体情况：　　）

非常感谢您对我们的支持，如果您还有什么问题欢迎和我们联系沟通！

地址：北京市西城区百万庄大街 22 号　机械工业出版社电工电子分社　邮编：100037

联系人：张俊红　联系电话：13520543780　传真：010-68326336

电子邮箱：buptzjh@163. com（可来信索取本表电子版）

编著图书推荐表

姓名		出生年月		职称/职务		专业	
单位				E-mail			
通讯地址						邮政编码	
联系电话		研究方向及教学科目					
个人简历(毕业院校、专业、从事过的以及正在从事的项目、发表过的论文):							
您近期的写作计划有:							
您推荐的国外原版图书有:							
您认为目前市场上最缺乏的图书及类型有:							

地址：北京市西城区百万庄大街 22 号　机械工业出版社，电工电子分社
邮编：100037　网址：www. cmpbook. com
联系人：张俊红　电话：13520543780　010-68326336（传真）
E-mail：buptzjh@163. com（可来信索取本表电子版）

简单轻松学技能丛书

基于就业的培训理念+源于工作的实战体验+全新的教学思路+独特的教授方法

简单轻松学电工检修
简单轻松学电工操作
简单轻松学电气安装
简单轻松学制冷维修
简单轻松学家电维修
简单轻松学元器件检测
简单轻松学电动机检修
简单轻松学PLC与PLC电路
简单轻松学电工电路识图
简单轻松学电子电路识图
简单轻松学电子仪表使用
简单轻松学电子电路检测
简单轻松学电子产品装配
简单轻松学变频器与变频电路
简单轻松学电工线路规划与改造
简单轻松学电气控制与PLC应用





请剪开贴膜，取出卡片

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术/电工技术
ISBN 978-7-111-45258-4
策划编辑◎张俊红

ISBN 978-7-111-45258-4



定价：49.80元